



TUGAS AKHIR - MO141326

*ANALISIS STABILITAS SUPPORT PIPELINE TIPE CONCRETE
MATTRESS PADA OFFSHORE CROSSING PIPELINE*

HAFIZHUDDIN RAHMANSYAH ABBAS

NRP. 4311 100 048

Dosen Pembimbing:

Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc.

Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng. Ph.D.

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Fakultas Tekonolgi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2015



FINAL PROJECT - MO141326

STABILITY ANALYSIS OF CONCRETE MATTRESS TYPE
PIPELINE SUPPORT ON OFFSHORE PIPELINE CROSSING

HAFIZHUDDIN RAHMANSYAH ABBAS

REG. 4311 100 048

Supervisors:

Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc.

Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng. Ph.D.

DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING

Faculty of Marine Technology

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2015

**ANALISA STABILITAS SUPPORT PIPELINE TIPE CONCRETE
MATTRESS PADA CROSSING OFFSHORE PIPELINE**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

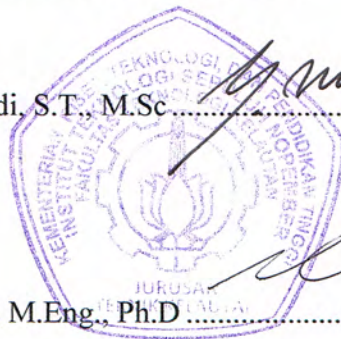
Oleh

HAFIZHUDDIN RAHMANSYAH ABBAS

NRP. 4311 100 048

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc.....(Pembimbing 1)
2. Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng., Ph.D.....(Pembimbing 2)



SURABAYA, SEPTEMBER 2015

**ANALISA STABILITAS SUPPORT PIPELINE TIPE CONCRETE
MATTRESS PADA CROSSING OFFSHORE PIPELINE**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh

HAFIZHUDDIN RAHMANSYAH ABBAS

NRP. 4311 100 048

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D.(Dosen Penguji)
2. Silvianita, ST., M.Sc., Ph.D.(Dosen Penguji)
3. Darta Marina Chamelia, ST., MT.(Dosen Penguji)

SURABAYA, SEPTEMBER 2015

ANALISIS STABILITAS SUPPORT PIPELINE TIPE CONCRETE MATTRESS PADA CROSSING OFFSHORE PIPELINE

Nama Mahasiswa : Hafizhuddin Rahmansyah Abbas
NRP : 4311 100 048
Jurusan : Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Dosen Pembimbing : Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc
Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng., Ph.D

ABSTRAK

Pipeline merupakan salah satu model transportasi gas alam dan minyak bumi yang banyak digemari karena selain cepat, aman juga ekonomis. Semakin banyaknya pipa bawah laut yang sudah terinstal dapat menyebabkan kondisi persilangan (*crossing*). Maka, *pipeline crossing* harus dibuat agar pipa tetap dapat mengikuti rute yang telah ditentukan dan tidak mengganggu objek *existing* tersebut. *Pipeline Crossing* mempunyai resiko yang sangat besar. Kondisi tersebut dapat diatasi dengan perancangan rute ulang atau mendirikan *support pipeline* sesuai dengan kebutuhan. Oleh karena itu *pipeline* diusahakan tidak terlalu dekat dengan lokasi struktur lain atau sistem *pipeline* lain untuk menjaga jarak aman vertical (*clearance*) pipa dengan pipa lain minimal 0,3 meter (DNV OS-F101). Kondisi *crossing* tersebut mengharuskan untuk dilakukan pengecekan terhadap stabilitas struktur pipa dan support yang menopang pipa tersebut. Dalam pengerjaan tugas akhir ini mengacu pada code yang ditetapkan yaitu DNV RP-E305: *On-Bottom Stability Design of Submarine Pipelines*. Untuk analisa yang dilakukan pada kedua jenis *support* diketahui bahwa kriteria yang ditentukan untuk melawan pembebanan dari luar seperti momen *overturning*, *sliding* dan *bearing pressure*. Pada data diketahui jarak *clearance* antar pipa adalah 0,65 m. Jarak aman *clearance* yang diizinkan pada aturan DNV adalah 0,3 m. Penurunan tanah maksimum yang diizinkan 0,35 m. *Support* 1 Tipe A = 418,61 mm, *Support* 1 Tipe B = 380,25 mm, *Support* 1 Tipe C = 338,48 mm, *Support* 2 Tipe A = 361,81 mm, *Support* 2 Tipe B = 337,47 mm, *Support* 2 Tipe C = 271,49 mm. Dari semua jenis support tersebut yang memenuhi adalah support 1 Tipe C dan Support 2 Tipe B. Maka diperlukan mitigasi setelah terjadinya penurunan tanah pada *support* agar jarak *clearance* aman tidak terlampaui.

Kata kunci : crossing pipeline, on-bottom stability, support pipeline, settlement

**STABILITY ANALYSIS OF CONCRETE MATTRESS TYPE
PIPELINE SUPPORT ON OFFSHORE PIPELINE
CROSSING**

Name : Hafizhuddin Rahmansyah Abbas
Reg. Number : 4311 100 048
Department : Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Advisors : Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc
Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng., Ph.D

ABSTRACT

Pipeline is one mode of natural gas and oil transportation mode that widely preferred because of fast, safe, and economic. With more and more offshore pipelines installed, intersections can't be avoided. Because of that, pipelines crossings had to be made so that the pipelines' route and the existing pipelines is undisturbed. Pipelines crossings has a very high risk. That condition can be dealt with by re-routing the pipeline or building pipeline support as necessary. Because of that, pipelines designed to be away from another pipeline or structures to provide a safe vertical distance (clearance) between pipelines 0.3 meters (DNV OS-F101). The crossing condition demands for stability analysis of the pipe and its support structure. This final project refers to DNV RP-E305: *On-Bottom Stability Design of Submarine Pipelines code*. As for the analyses done to the support structures, it's analysis criteria is to resist external loads such as overturning moments, sliding, and bearing pressure. The existing *clearance* distance is 0,65 m. Maximum allowable settlement is 0,35 m. Support 1 Type A = 418,61 mm, Support 1 Type B = 380,25 mm, Support 1 Type C = 338,48 mm, Support 2 Type A = 361,81 mm, Support 2 Type B = 337,47 mm, Support 2 Type C = 271,49 mm. From supports above, the most qualified support is Support 1 Type C and Support 2 Type B. Mitigation is required after soil settlement occurred on the support structures so that the clearance won't be exceeded.

Keywords : crossing pipeline, on-bottom stability, support pipeline, settlement

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur kehadiran Allah SWT, Tuhan semesta alam, berkat rahmat dan karunia-Nya penyusun dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul **“Analisa Stabilitas Support Pipeline Tipe Concrete Mattress pada Offshore Pipeline”** ini dengan baik.

Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan studi kesarjanaan (S-1) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Tujuan dari tugas akhir ini adalah untuk mengetahui kondisi support pipa bawah laut dalam melawan gaya yang bekerja terhadapnya serta penurunan tanah akibat beban yang diterima oleh support.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan laporan ini masih banyak kekurangan sehingga jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, saran dan kritik penulis harapkan sebagai bahan penyempurnaan selanjutnya. Semoga tugas akhir ini dapat menambah khazanah keilmuan tentang dunia kelautan, bagi pembaca pada umumnya dan penulis pada khususnya.

Surabaya, September 2015

Hafizhuddin Rahmansyah Abbas

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam penyelesaian Tugas Akhir ini tentunya tidak lepas dari bantuan dan motivasi yang tulus dan ikhlas dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan kali ini penulis mengucapkan rasa syukur dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT., Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat dan anugerah-Nya yang tak terkira kepada penulis sehingga mampu menyelesaikan pengerjaan tugas akhir ini.
2. Kedua orangtua tersayang dan tercinta, Ayah Toha Agus dan Ibu Nurhasanah yang telah memberikan dukungan doa dan moril tiada henti bagi penulis di setiap waktu agar diberi kemudahan dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Semua usaha dan karya ini penulis persembahkan sebagai salah satu upaya untuk menciptakan sedikit senyum bangga di wajah Ayah dan Ibu. Karena ini salah satu pembuktian kerja keras terbesar saat ini yang mampu penulis berikan.
3. Bapak Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc., selaku dosen pembimbing I yang telah merelakan waktunya untuk mendidik dan membimbing penulis dengan sabar dan ikhlas dalam menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik dan maksimal. Semoga Allah SWT membalas amal dan kebaikan Bapak.
4. Bapak Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku dosen pembimbing II yang telah merelakan waktunya untuk membimbing penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
5. Bapak Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.d. selaku dosen wali penulis yang selalu memberikan motivasi dan semangat kepada penulis.
6. Adik kandung, Mirza Febriansyah Abbas, yang selalu menghibur penulis ketika di rumah. Semoga semua ini dapat memotivasimu untuk mampu berupaya lebih keras demi masa depan yang lebih baik lagi.
7. Maria La P. Gorat dan Pepa, yang selalu setia menemani dan memberi segala motivasi. Terima kasih atas segala doa, kasih sayang dan semangat yang selalu diberikan kepada penulis. Semoga kita selalu mampu untuk saling mendukung dalam kebaikan.

8. Semua staff pengajar beserta pelaksana administratif dan akademika Jurusan Teknik Kelautan ITS yang telah memberikan ilmu yang sangat bermanfaat dan pelayanan selama penulis menjalankan perkuliahan.
9. Keluarga besar The Trident L29 - P51 angkatan 2011 yang tiada hentihentinya memberikan dorongan dan saling menghibur penulis dalam suka maupun duka selama masa perkuliahan.
10. Sahabat tercinta, Fachrul Herwanzah yang selalu mengerti penulis, selalu menemani penulis selama perkuliahan dan saling memberi semangat.
11. Teman-teman seperjuangan anak Pak Yes dan Pak Dots yang selalu bersama-sama saat melakukan asistensi, Ical, Anggit, Caren, Dimas, Roni, Ulul.
12. Serta pihak-pihak lain yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK	ii
KATA PENGANTAR	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	3
1.5 Batasan Masalah	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	5
2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.2 Dasar Teori	6
2.2.1 Beban Gelombang	6
2.2.2 Teori Gelombang	6
2.2.2.1 Teori Gelombang Stokes Orde 2	8
2.2.3 Stabilitas Pipa	9
2.2.3.1 Berat Terendam Pipa	10
2.2.4 Pehitungan Kecepatan Arus	12
2.2.5 Reynolds Number	13
2.2.6 Gaya <i>Bouyancy</i>	13
2.2.7 Stabilitas Support	14
2.2.7.1 Analisa Overturning	15
2.2.7.2 Analisa Sliding	15
2.2.7.3 Analisa Bearing Capacity	16
2.2.8 Penurunan Tanah	16
2.2.8.1 Konsolidasi	19

2.2.8.2 Immediate Settlement	20
2.2.8.3 Consolidation Settlement	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	27
3.1 Diagram Alir	27
3.2 Penjelasan Metodologi Penelitian	29
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Pengumpulan Data	31
4.1.1 Data Pipa	31
4.1.2 Data Lingkungan	33
4.1.3 Data Support	34
4.2 Stabilitas Pipa	36
4.3 Analisa Stabilitas Support	36
4.3.1 Analisa Stabilitas Vertikal Support	37
4.3.2 Analisa Stabilitas Lateral Support	37
4.3.3 Analisa Overturning	38
4.3.4 Analisa Sliding	40
4.3.5 Analisa Bearing Capacity	41
4.4 Analisa Penurunan Tanah (<i>Settlement</i>)	42
4.4.1 Penurunan Tanah pada Support 1 Tipe A	42
4.4.2 Penurunan Tanah pada Support 1 Tipe B	44
4.4.3 Penurunan Tanah pada Support 1 Tipe C	45
4.4.4 Penurunan Tanah pada Support 2 Tipe A	47
4.4.5 Penurunan Tanah pada Support 2 Tipe B	48
4.4.6 Penurunan Tanah pada Support 2 Tipe C	50
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	55
5.1 Kesimpulan	55
5.2 Saran	55
DAFTAR PUSTAKA	57
LAMPIRAN	
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Kondisi <i>Crossing Pipeline</i>	1
Gambar 1.2	Peta Kasus <i>Crossing Pipeline</i> PHE ONWJ	2
Gambar 2.1	Klasifikasi Perairan Menurut Panjang Gelombang dan Kedalaman	7
Gambar 2.2	Grafik <i>Region of Validity of Wave Theories</i>	7
Gambar 2.3	Contoh Profil Gelombang	9
Gambar 2.4	Gaya Hidrodinamis pada Pipa	9
Gambar 2.5	Potongan Pipa Melintang	10
Gambar 2.6	Gaya yang Bekerja pada Support	15
Gambar 2.7	Sketsa Overturning Moment	15
Gambar 2.8	Gaya yang Terjadi pada Analisa Sliding	16
Gambar 2.9	Bentuk Keruntuhan Dalam Analisis Daya Dukung	17
Gambar 2.10	Grafik Waktu – Pemampatan Selama Konsolidasi untuk Suatu Penimbunan Beban	19
Gambar 2.11	Elastic Settlement of Flexible and Rigid Foundation	21
Gambar 2.12	Penurunan Konsolidasi	23
Gambar 4.1	Support Pipeline Tipe Concrete Mattress 1	34
Gambar 4.2	Support Pipeline Tipe Concrete Mattress 2	35
Gambar 4.3	Gaya yang Bekerja pada Support	36
Gambar 4.4	Grafik Perbandingan Analisis Overturning Moment	39
Gambar 4.5	Gaya yang Terjadi pada Analisa Sliding	40
Gambar 4.6	Grafik Perbandingan Analisis Sliding	41
Gambar 4.7	Grafik Perbandingan Analisis Bearing Capacity	42

Gambar 4.8	Grafik Penurunan Tanah Tiap Layer Support Concrete Mattress 1	
	Tipe A	43
Gambar 4.9	Grafik Penurunan Tanah Total pada Support Concrete Mattress 1	
	Tipe A	43
Gambar 4.10	Grafik Penurunan Tanah Tiap Layer Support Concrete Mattress 1	
	Tipe B	44
Gambar 4.11	Grafik Penurunan Tanah Total pada Support Concrete Mattress 1	
	Tipe B	45
Gambar 4.12	Grafik Penurunan Tanah Tiap Layer Support Concrete Mattress 1	
	Tipe C	46
Gambar 4.13	Grafik Penurunan Tanah Total pada Support Concrete Mattress 1	
	Tipe C	46
Gambar 4.14	Grafik Penurunan Tanah Tiap Layer Support Concrete Mattress 2	
	Tipe A	47
Gambar 4.15	Grafik Penurunan Tanah Total pada Support Concrete Mattress 2	
	Tipe A	48
Gambar 4.16	Grafik Penurunan Tanah Tiap Layer Support Concrete Mattress 2	
	Tipe B	49
Gambar 4.17	Grafik Penurunan Tanah Total pada Support Concrete Mattress 2	
	Tipe B	49
Gambar 4.18	Grafik Penurunan Tanah Tiap Layer Support Concrete Mattress 2	
	Tipe C	50
Gambar 4.19	Grafik Penurunan Tanah Total pada Support Concrete Mattress 2	
	Tipe C	51

Gambar 4.20 Grafik Perbandingan <i>Immediate Settlement</i>	51
Gambar 4.21 Grafik Perbandingan <i>Consolidation Settlement</i>	52
Gambar 4.22 Grafik Penurunan Tanah Total pada Kedua Jenis Support	52

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Kriteria Kedalaman Laut	8
Tabel 2.2	Recomended Hydrodynamics Coefficient	13
Tabel 2.3	Koefisien Daya Dukung Terzaghi	18
Tabel 2.4	Penentuan Faktor Kalibrasi Gesek Tanah	20
Tabel 2.5	Parameter Kekasaran <i>Seabed</i>	20
Tabel 2.6	Faktor Pengaruh yang Tergantung dari Bentuk Pondasi dan Kekakuan Pondasi	22
Tabel 2.7	Angka <i>Poisson's Ratio</i> (μ) Menurut Jenis Tanah	22
Tabel 4.1	Data Umum Pipa	31
Tabel 4.2	Data Operasi	32
Tabel 4.3	Data Eksternal Corrosion Coating	32
Tabel 4.4	Data Concrete Coating	32
Tabel 4.5	Data Gelombang	33
Tabel 4.6	Data Arus	33
Tabel 4.7	Data Tanah	34
Tabel 4.8	Detail Dimensi Support Tipe 1	35
Tabel 4.9	Detail Dimensi Support Tipe 2	35
Tabel 4.10	Hasil Perhitungan Gaya Hidrodinamis pada Pipa	36
Tabel 4.11	Hasil Analisa Stabilitas Vertikal	37
Tabel 4.12	Hasil Analisa Stabilitas Lateral	38
Tabel 4.13	Hasil Analisa Overturning pada Support 1	39
Tabel 4.14	Hasil Analisa Overturning pada Support 2	39
Tabel 4.15	Hasil Analisa Sliding pada Support 1	40
Tabel 4.16	Hasil Analisa Sliding pada Support 2	40

Tabel 4.17 Hasil Analisa Bearing Capacity pada Support 1	41
Tabel 4.18 Hasil Analisa Bearing Capacity pada Support 2	41
Tabel 4.19 Hasil Analisa Overturning, Sliding, Bearing Capacity	53
Tabel 4.20 Penurunan Tanah Total (mm) Tiap Support	53

DAFTAR LAMPIRAN

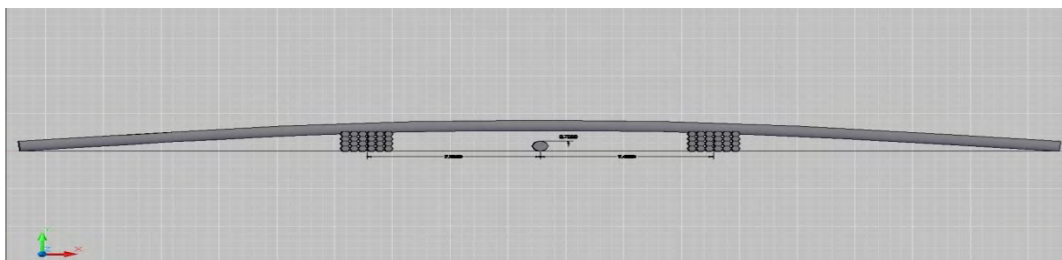
LAMPIRAN A	PERHITUNGAN BERAT TERENDAM PIPA	A1
LAMPIRAN B	PERHITUNGAN BERAT TERENDAM SUPPORT DAN STABILITAS SUPPORT	B1
LAMPIRAN C	PERHITUNGAN STABILITAS SUPPORT, OVERTURNING MOMENT, SLIDING, BEARING PRESSURE	C1
LAMPIRAN D	PERHITUNGAN PENURUNAN TANAH (SETTLEMENT)	D1

BAB I

PENDAHULUAN

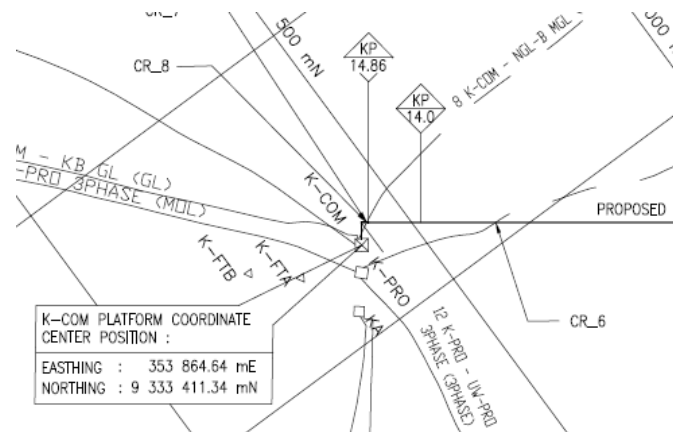
1.1 Latar Belakang Masalah

Offshore pipeline atau yang lebih dikenal dengan sebutan pipa bawah laut merupakan suatu teknologi transportasi yang digunakan untuk mengangkut produk hidrokarbon seperti *crude oil*, gas alam bertekanan tinggi, dan *condensate* yang relatif rendah. Fluida yang dibawa *subsea pipelines* dalam jumlah besar dan jarak yang jauh serta dilewatkan melalui jalur laut atau lepas pantai. Pipa bawah laut dapat bekerja 24 jam sehari, 365 hari dalam setahun selama umur pipa yang bisa mencapai 30 tahun atau bahkan lebih (Soegiono, 2007). *Pipeline* merupakan salah satu model transportasi gas alam dan minyak bumi yang banyak digemari karena selain cepat, aman juga ekonomis. Pada saat penentuan rute pipa, tidak jarang ditemukan kasus dimana rute pipa yang akan ditentukan bertemu dengan sebuah objek *existing* seperti pipa bawah laut dan kabel bawah laut. Maka, *pipeline crossing* harus dibuat agar pipa tetap dapat mengikuti rute yang telah ditentukan dan tidak mengganggu objek *existing* tersebut. *Crossing* merupakan kondisi dimana terdapat lebih dari satu jalur pipa yang saling bersilangan dan berdekatan secara vertical. *Pipeline Crossing* mempunyai resiko yang sangat besar, oleh karena itu *pipeline* diusahakan tidak terlalu dekat dengan lokasi struktur lain atau sistem *pipeline* lain. Hal tersebut telah dijelaskan sesuai dengan aturan pada *Det Norske Veritas 2000; DNV OS-F101, Submarine Pipeline System*. Dengan memperhitungkan efektifitas dan biaya yang dikeluarkan lebih ekonomis masih dapat dimungkinkan adanya *crossing* diantara *pipeline* dengan jarak vertikal antar *pipeline* sejauh 0,3 meter.



Gambar 1.1 Kondisi *Crossing Pipeline*

Keputusan Menteri Pertambangan No. 300.K tahun 1997 mengatur bahwa untuk pipa bawah laut yang diinstal di perairan dengan kedalaman kurang dari 13 meter, harus dipendam minimal sedalam 2 meter dari seabed. Untuk kedalaman lebih dari 13 meter pipa dapat digelar seperti biasa (*laydown*).



Gambar 1.2 Peta Kasus *Crossing Pipeline* PHE ONWJ

Kondisi *crossing* yang terjadi pada *pipeline* dari *platform* KA-KC milik PT. Pertamina Hulu Energi, memiliki jarak vertikal (*Clearance*) sebesar 0,65 meter. *Support pipa* yang digunakan adalah *concrete mattress* berbahan beton. Pada pipa PT. PHE ONWJ ini memiliki semacam pelindung pipa yang berupa *concrete mattress*. Selain bertugas sebagai pelindung juga berfungsi sebagai pemberat agar pipa tetap stabil di *seabed*. Karena adanya pengaruh pemberat ini maka sangat memungkinkan terjadi defleksi pada pipa. Selain itu faktor lain yang mempengaruhi berkurangnya jarak vertikal (*clearance*) pada pipa adalah terjadinya penurunan tanah (*soil settlement*) di *crossing point* khususnya di bawah struktur *support pipa*. Data tanah di sekitar *crossing point* berupa tanah jenis *soft clay* dan terdapat struktur *concrete mattress* sebagai *support pipa* sehingga dalam kurun waktu tertentu akan dapat menimbulkan terjadinya penurunan tanah.

1.2 Perumusan Masalah

Adapun perumusan masalah yang akan dibahas dalam tugas akhir ini antara lain sebagai berikut,

1. Bagaimana stabilitas *support* yang menopang pipa?
2. Bagaimana *Soil settlement* yang terjadi pada *crossing* pipa?

1.3. Tujuan

Dari perumusan masalah diatas, dapat diambil tujuan yang ingin dicapai dalam tugas akhir ini adalah,

1. Untuk mengetahui stabilitas support yang menopang pipa.
2. Mengetahui *Soil settlement* yang terjadi pada *crossing* pipa.

1.4. Manfaat

Manfaat dari penelitian tugas akhir ini adalah untuk memberikan pemahaman kepada penulis dan pembaca mengenai desain stabilitas *support pipeline* bawah laut, serta mengetahui alur proses pengerjaan dalam analisa pipa yang mengalami *crossing* dengan pipa lain dan di *support* dengan *concrete mattress*. Selain itu dapat mengetahui berapa penurunan tanah total pada *support pipa*.

1.5. Batasan Masalah

Dalam memperjelas permasalahan dan mempermudah perhitungan diperlukan batasan-batasan dan asumsi-asumsi yang diperlukan. Batasan masalah yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Pipa PT. Pertamina Hulu Energi North West Java diletakkan didasar laut pada kedalaman 30 meter dan pada kondisi tidak terkubur.
2. *Existing line* tidak mengalami *uplift*
3. Tidak melakukan analisa *vortex shedding* pada pipa.
4. Analisa stabilitas yang digunakan sesuai dengan DNV RP E305 On-Bottom Stability Design of Submarine Pipelines.
5. Support pipa yang digunakan adalah *Concrete Mattress* dengan tipe dan ukuran yang sudah ditentukan.
6. Pengaruh *scouring* dan beban gemap diabaikan.
7. Tidak melakukan analisa *fatigue* yang terjadi akibat *crossing* pipa.
8. Span terjadi akibat sanggahan support *concrete mattress* untuk menjaga *clearance* dan tidak menganalisa *stress* pipa akibat span.
9. Tanah berjenis *soft clay* dan homogen disepanjang pipa.

1.6 Sistematika Penulisan

BAB I, Pendahuluan, menjelaskan tentang latar belakang penulisan, permasalahan yang dibahas dalam penulisan, apa yang akan dilakukan, batasan masalah, tujuan dan manfaat penulisan tugas akhir.

BAB II, Tinjauan pustaka dan dasar teori, menjelaskan tentang dasar teori dan tinjauan pustaka yang menjadi sumber referensi dalam tugas akhir ini dibahas dalam bab dua.

BAB III, Metodologi Penelitian, menjelaskan metodologi penelitian yang akan digunakan untuk mengerjakan tugas akhir. Penjelasan tentang langkah-langkah analisa serta langkah permodelan dengan *software*.

BAB IV, Analisa data dan pembahasan, membahas hasil dari analisa yang telah dilakukan pada penelitian, meliputi analisa hasil, dan pembahasan hasil analisa.

BAB V, Kesimpulan dan saran, berisi tentang kesimpulan setelah dilakukan analisa dan saran serta rekomendasi dari hasil pengerjaan tugas akhir.

Daftar pustaka menampilkan seluruh informasi dan dokumen tertulis yang dijadikan landasan dan pengembangan penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Istilah *pipeline* diartikan sebagai bentangan pipa fluida dengan jarak yang sangat panjang. Komoditas yang sering ditransportasikan adalah air, gas alam, minyak mentah, dan produksi hasil pengolahan minyak bumi lainnya (Liu, Henry, 2003). *Pipeline* digunakan dalam berbagai macam tujuan, salah satu diantaranya adalah sebagai *trunk line* yakni mengangkut minyak dan/atau gas dari fasilitas produksi menuju daratan (Mousselli, 1981). Namun banyaknya penggunaan *pipeline* sebagai media penyalur akan menimbulkan kondisi *crossing* antara satu pipa dengan yang lainnya. *Crossing* pada *pipeline* merupakan kondisi dimana terdapat lebih dari satu jalur *pipeline* yang saling berdekatan secara vertikal. Pemisahan *pipeline* yang saling berdekatan dapat berupa *concrete mattress* atau melakukan *burial* dibawah *seabed*.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut telah diatur dalam *Det Norske Veritas (DNV) OS-F101 section 5. B103* yang mengatur jarak aman minimum antar *crossing pipeline* sebesar 0,3 meter dengan mempertimbangkan pengaruh defleksi, gaya hidrodinamis, dan hal lain yang beresiko tinggi. Pipa dapat dilindungi dari bahaya dengan menggunakan *concrete coating*, *burial*, *cover* (*sand, gravel, mattress*) dan berbagai proteksi mekanis lainnya.

Selain itu juga lahir peraturan pemerintah berupa keputusan menteri pertambangan dan energi nomor 300.k/38.pel/1997 pasal 13 ayat 3 yang menyatakan bahwa pipa penyalur yang digelar di laut wajib memenuhi ketentuan-ketentuan yang telah dibuat yaitu sebagai berikut :

- a. Dalam hal kedalaman dasar laut kurang dari 13 meter maka pipa harus ditanam sekurang kurangnya 2 (dua) meter di bawah dasar laut (*seabed*), serta dilengkapi dengan pemberat agar pipa tidak bergeser atau berpindah.
- b. Dalam hal kedalaman dasar laut 13 (tiga belas) meter atau lebih maka pipa dapat diletakkan di dasar laut (digelar) serta dilengkapi dengan sistem pemberat agar pipa tidak bergeser atau berpindah.
- c. Setelah diselesaikannya penggelaran pipa pada daerah keberadaan pipa, pada daerah keberadaan pipa harus dilengkapi dengan Saran Bantu

Navigasi Pelayaran (SBNP) sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Raha (2008) dan Sianturi (2008) telah menghitung stabilitas pipa bawah laut dengan variasi tebal concrete coating sehingga didapatkan hasil dan desain stabilitas pipa bawah laut yang dapat memenuhi faktor keamanan vertikal maupun lateral dengan mengacu pada metode DNV RP E305.

Dan Arifianti (2011) telah menghitung defleksi pipa PT. PGN akibat beban yang bekerja pada pipa dan konsolidasi tanah pada tempat instalasi pipa di bawah lokasi *crossing*.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Beban Gelombang

Gelombang laut terbentuk karena permukaan laut terkena hembusan angin terus menerus. Gelombang menyerap energi dari angin, dan sebaliknya mengeluarkan energi untuk penyebaran.

Menurut Indiyono (2004), beban gelombang adalah beban terbesar yang ditimbulkan oleh beban lingkungan pada bangunan lepas pantai (*offshore structure*). Perhitungan beban gelombang dapat direpresentasikan dengan perhitungan gaya gelombang. Syarat pemilihan teori untuk perhitungan gaya gelombang didasarkan pada perbandingan antara diameter struktur (D) dengan panjang gelombang (L) sebagai berikut,

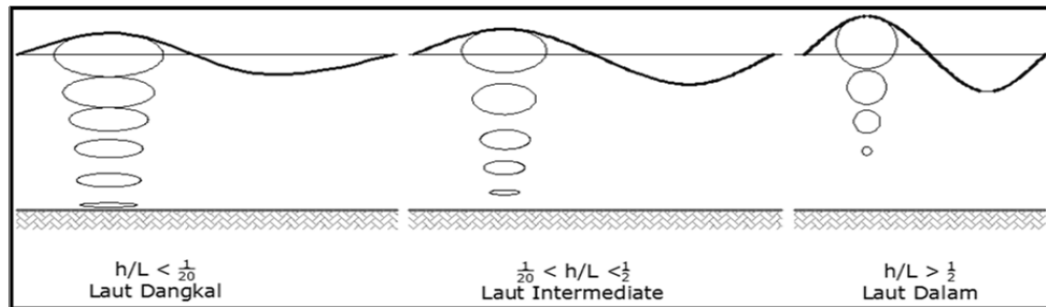
- | | |
|-------------|---|
| $D/L > 1$ | Gaya gelombang mendekati pemantulan murni, persamaan morison tidak valid |
| $D/L > 0.2$ | Difraksi gelombang perlu diperhitungkan, persamaan morison tidak valid |
| $D/L < 0.2$ | Persamaan morison valid. Teori yang digunakan dalam perhitungan gaya gelombang (Indiyono, 2004) |

2.2.2 Teori Gelombang

Dalam bukunya, Mousselli (1981) menyatakan bahwa teori gelombang yang akan digunakan dalam perancangan dapat ditentukan dengan menggunakan formulasi matematika dari teori gelombang linier sebagai berikut :

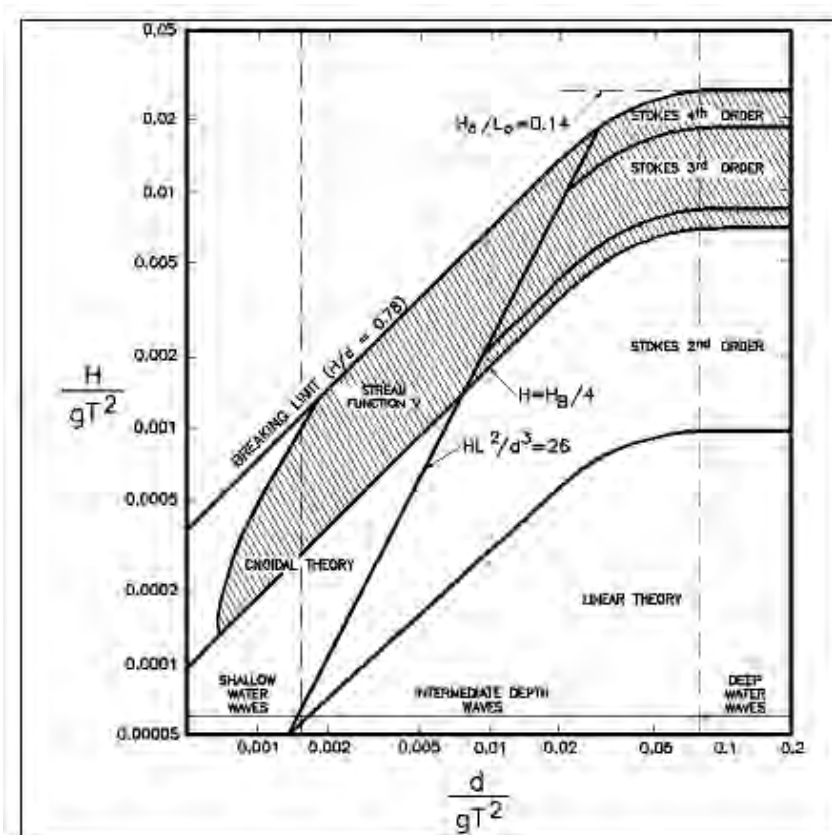
$$\left[\frac{H}{g T^2} \right] \text{ dan } \left[\frac{d}{g T^2} \right]$$

Pers. 1



Gambar 2.1 Klasifikasi Perairan Menurut Panjang Gelombang dan Kedalaman

Dengan mengetahui panjang gelombang pada perairan dalam, maka dapat dihitung panjang gelombang untuk perairan dengan kedalaman yang lain. Hasil dari formulasi matematika tersebut kemudian disesuaikan dengan grafik Daerah Aplikasi Teori Gelombang *Regions of Validity of Wave Theories*, seperti terlihat pada **Gambar 2.2** sehingga dapat diketahui teori gelombang yang akan digunakan.



Gambar 2.2 Grafik *Region of Validity of Wave Theories* (Mousselli, 1981)

2.2.2.1 Teori Gelombang Stokes Orde 2

Pada umumnya bentuk gelombang di alam adalah sangat kompleks dan sulit digambarkan secara matematis karena ketidak linieran, tiga dimensi, dan mempunyai bentuk random (Triatmodjo, 1999). Penentuan teori gelombang yang berlaku didasarkan pada parameter-parameter berupa tinggi gelombang, periodenya serta kedalaman laut yang diamati. Teori gelombang *stokes* merupakan solusi untuk perairan yang membutuhkan tingkat akurasi lebih tinggi dari teori gelombang linier. *Stokes* memasukkan ekspresi deret kecepatan potensial dalam persamaan *Laplace* dan syarat batas dasar laut. Koefisien dari deret tersebut merupakan pertambahan parameter yang dikaitkan dengan amplitudo dan panjang gelombang.

Teori gelombang *Stokes* Orde 2

Persamaan kecepatan dan percepatan partikel gelombang pada arah horisontal untuk teori gelombang *stokes* orde 2 dapat diketahui dari persamaan berikut (Chakrabarti, 1987) :

- Kecepatan Horisontal :

$$U = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh ks}{\sinh kd} \cos \theta + \frac{3}{4} \left(\frac{\pi H}{L} \right) \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh^2 ks}{\sinh^4 kd} \cos 2\theta \quad \text{Pers. 2}$$

- Percepatan Horisontal :

$$\frac{u}{t} = \frac{2\pi^2 H}{T} \frac{\cosh ks}{\sinh kd} \cos \theta + \frac{3\pi^2 H}{T^2} \left(\frac{\pi H}{L} \right) \frac{\cosh^2 ks}{\sinh^4 kd} \cos 2\theta \quad \text{Pers. 3}$$

Dengan :

d = kedalaman perairan (ft)

H = tinggi gelombang (ft)

L = panjang gelombang dengan perkiraan kedalaman perairan

Tabel 2.1 Kriteria Kedalaman Laut

Approximation	Criteria	Wave length
Deep water	$d/L > 1/2$	$L = gT^2 / 2\pi$
Shallow water	$d/L < 1/20$	$L = T \sqrt{gd}$

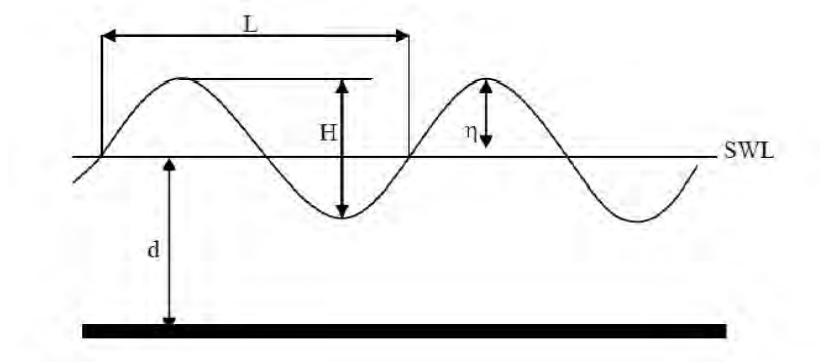
T = periode gelombang (s)

k = angka gelombang, $k = \frac{2\pi}{L}$

y = koordinat gelombang di atas SWL, $y = \frac{H}{2}$

s = koordinat gelombang di atas seabed, $s = d + y$
 g = percepatan gravitasi (m/s^2)

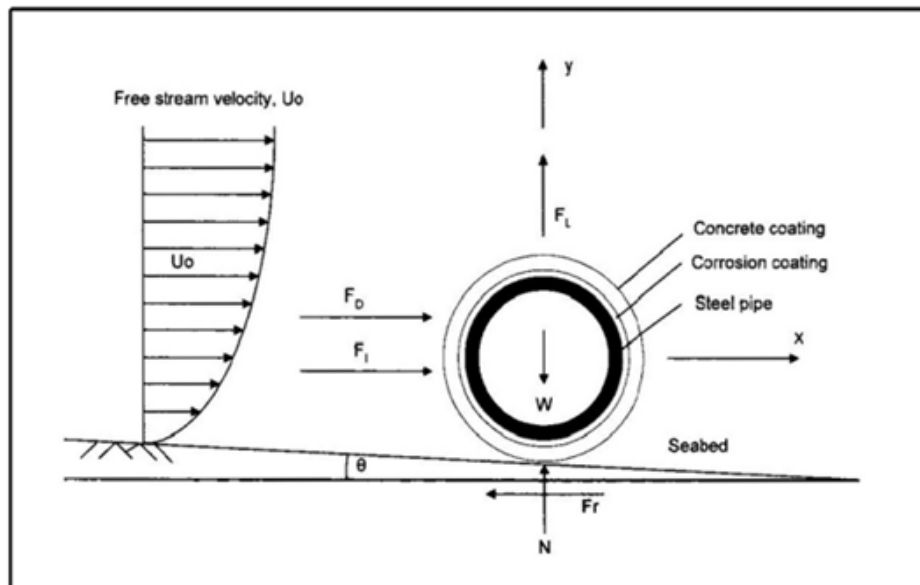
Dengan contoh gambar profil gelombang seperti diperlihatkan pada **Gambar 2.3** berikut:



Gambar 2.3 Contoh Profil Gelombang

2.2.3 Stabilitas Pipa

Stabilitas pipa bawah laut terkait dengan gaya-gaya hidrodinamis karena keberadaannya dalam fluida yang bergerak. Gaya hidrodinamis yang mengenai pipa antara lain gaya drag (*drag force*), gaya inerti (*inertia force*) dan gaya angkat (*lift force*). Gaya-gaya hidrodinamis sangat berpengaruh pada kestabilan struktur.



Gambar 2.4 Gaya Hidrodinamis pada pipa (Mousselli, 1981)

Menurut *Det Norske Veritas RP-C205, Environmental Conditions and Environmental Load*, gaya diatas dapat dirumuskan sebagai berikut :

- Gaya Drag (F_D)

$$F_D = \frac{1}{2} \rho C_D D U_e^2 \quad \text{Pers. 4}$$

- Gaya Inertia (F_I)

$$F_I = \rho C_M \left[\frac{\pi D^2}{4} \right] \left(\frac{dU}{dt} \right) \quad \text{Pers. 5}$$

- Gaya Lift (F_L)

$$F_L = \frac{1}{2} \rho C_L D U_e^2 \quad \text{Pers. 6}$$

Dengan :

ρ = densitas fluida, kg/m^3

D = diameter luar pipa termasuk *concrete coating*, m

U_e = kecepatan efektif partikel, m/s

du/dt = percepatan aliran, m/s^2

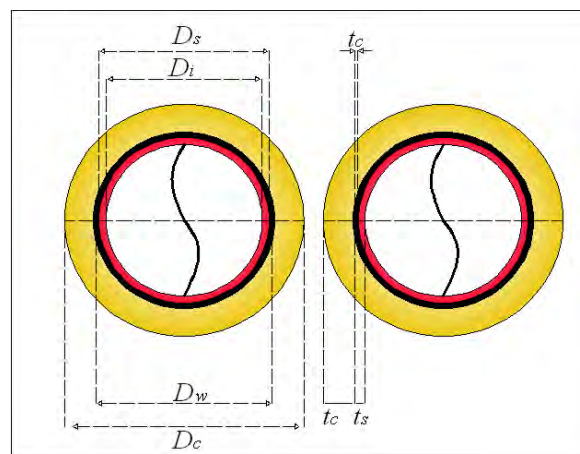
C_D = *coefficient drag*

C_M = *coefficient inertia* atau *coefficient mass*

C_L = *coefficient lift*

2.2.3.1 Berat Terendam Pipa

Ilustrasi potongan melintang sebuah pipa adalah seperti **Gambar 2.5** berikut ini,



Gambar 2.5 Potongan Pipa Melintang

Berikut ini rumus perhitungan berat terendam pipa :

- Diameter luar pipa

$$D = D_o + 2t_{corr} + 2t_c \quad \text{Pers. 7}$$

- Diameter dalam pipa

$$D_i = D_o - 2t_{st} \quad \text{Pers. 8}$$

- Berat baja di udara (W_{st})

$$W_{st} = \frac{\pi}{4} \rho_{st} (D_o^2 - D_i^2) g \quad \text{Pers. 9}$$

- Berat lapisan anti karat di udara (W_{corr})

$$W_{corr} = \frac{\pi}{4} \rho_{corr} [(D_o + 2t_{corr})^2 - D_i^2] g \quad \text{Pers. 10}$$

- Berat selimut beton di udara (W_c)

$$W_c = \frac{\pi}{4} \rho_c [(D_o + 2t_{corr} + 2t_c)^2 - (D_o + 2t_{corr})^2] g \quad \text{Pers. 11}$$

- Berat Pengisi pipa (W_{cont})

$$W_{cont} = D_i^2 \rho_{cont} g \quad \text{Pers. 12}$$

- Gaya apung (B)

$$B = \frac{\pi}{4} \rho_w (D_o + 2t_{corr} + 2t_c)^2 g \quad \text{Pers. 13}$$

- Berat Terendam Pipa

$$W_s = W_{st} + W_{corr} + W_c + W_{cont} - B \quad \text{Pers. 14}$$

- Berat Terendam Minimum Pipa

$$W_{s_{req}} = \left[\frac{(F_D + F_I) + \mu \cdot F_L}{\mu} \right] \cdot F_w \quad \text{Pers. 15}$$

Dengan,

- Do = Diameter luar pipa baja, (m)
- Di = Diameter dalam pipa baja, (m)
- Dw = Diameter luar lapisan anti karat (*corrosin wrap*), (m)
- Dc = Diameter luar selimut beton (*concrete coating*), (m)
- t_{st} = Tebal pipa baja, (in)
- t_{corr} = Tebal lapisan anti karat, (m)
- tc = Tebal selimut beton, (in)
- W_{st} = berat baja di udara (N/m)
- W_{corr} = berat lapisan anti karat di udara (N/m)
- W_c = berat selimut beton di udara (N/m)
- W_{cont} = berat muatan pada pipa (N/m)
- W_s = berat terendam pipa (N/m)
- B = gaya apung (N/m)
- F_D = gaya drag (N/m)
- F_I = gaya inersia (N/m)
- F_L = gaya lift (N/m)
- μ = faktor gesek tanah
- F_w = faktor kalibrasi
- W_{s_req} = berat tenggelam minimum pipa (N/m)

2.2.4 Perhitungan Kecepatan Arus

Rumus yang digunakan untuk menghitung kecepatan arus adalah (DNV E-305), sebagai berikut :

$$U_D = U_r \left[\frac{\left(1 - \frac{z_o}{D}\right) \left(\ln\left(\frac{D}{z_o} + 1\right) - 1\right)}{\ln\left(\frac{z_r}{z_o} + 1\right)} \sin\theta_{curr} \right] \quad \text{Pers. 16}$$

Dengan :

- U_D = kecepatan partikel air, (m/s)
- D = diameter luar pipa, (m)
- Z_o = parameter kekerasan *seabed*
- Z_r = ketinggian diatas *seabed*
- U_r = kecepatan arus, (m/s)

θ_{curr} = sudut datang arus

2.2.5 Reynolds Number

Bilangan Reynold mengindikasikan bentuk aliran yang terbentuk dan berhubungan dengan tahanan suatu benda. Bilangan Reynold merupakan perbandingan antara *inertia force* (F_D) dan *viscous forces*. Bilangan Reynold itu sendiri dirumuskan sebagai berikut :

$$Re = \frac{U_e D}{\nu_k} \quad \text{Pers. 17}$$

Dengan,

ν_k = viskositas kinematis fluida untuk air laut (m^2/s)

u_e = kecepatan efektif partikel (m/s)

D = diameter struktur (m)

Dalam aplikasinya *reynold number* dapat digunakan untuk menentukan koefisien hidrodinamik yang digunakan dalam perhitungan gaya-gaya hidrodinamik yang bekerja pada struktur silinder. Penentuan koefisien hidrodinamis dapat diperoleh dari tabel dibawah ini.

Tabel 2.2 Recommended Hydrodynamics Coefficient (Mousselli, 1981)

Reynold Number (Re)	Hydrodynamic Coefficient		
	Cd	Cl	Ci
$Re < 5.0 \times 10^4$	1.3	1.5	2.0
$5.0 \times 10^4 < Re < 1.0 \times 10^5$	1.6	1.0	2.0
$1.0 \times 10^5 < Re < 2.5 \times 10^5$	$1.53 - \frac{Re}{5 \times 10^5}$	$1.2 - \frac{Re}{5 \times 10^5}$	2.0
$2.5 \times 10^5 < Re < 5.0 \times 10^5$	0.7	0.7	$2.5 - \frac{Re}{5 \times 10^5}$
$Re > 5.0 \times 10^5$	0.7	0.7	1.5

2.2.6 Gaya Bouyancy

Seperti yang diungkapkan dalam Hukum *Archimedes*, bahwa semua benda yang tercelup ke dalam fluida akan mendapat gaya apung sebanding dengan berat fluida yang dipindahkannya. Karena tekanan pada setiap titik di permukaan benda setara dengan *specific weight* dari fluida dan kedalaman, maka total gaya yang bekerja pada bagian kiri dan kanan benda tersebut menjadi sama dan dapat diabaikan (kesetimbangan gaya arah horizontal, $\sum F_x = 0$). Sedangkan untuk arah vertikal, besarnya gaya yang bekerja pada benda arah atas dan bawah tidak sama besar, hal ini disebabkan karena kedalaman rata-rata permukaan bagian atas benda lebih kecil dari dalam kedalaman rata-rata permukaan bagian bawah benda. Hal ini menyebabkan besar gaya yang bekerja kearah bawah menjadi lebih kecil daripada besar gaya yang bekerja kearah atas. Perbedaan besar gaya tersebut umumnya dikenal sebagai buoyancy (F_B) dari zat cair terhadap benda. Apabila benda dalam keadaan setimbang, maka gaya angkat kearah atas akan sama dengan berat benda kearah bawah. Maka, besarnya gaya apung dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$F_B = \rho \times g \times V \quad \text{Pers. 18}$$

Dimana,

F_B = buoyancy (N)

ρ = massa jenis zat cair, (kg/m^3)

g = percepatan gravitasi, (m/s^2)

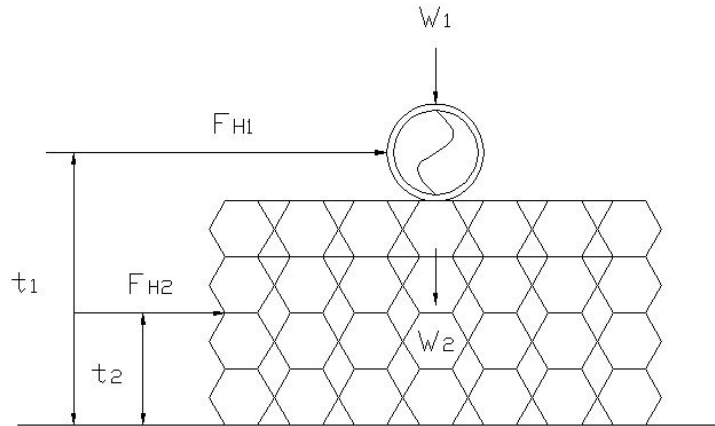
V = volume benda yang tercelup, (m^3)

2.2.7 Stabilitas Support

Penambahan beban di atas permukaan tanah dapat menyebabkan lapisan tanah di bawahnya mengalami pemampatan. Ketika beban per unit area pada support bertambah, maka tanah akan mengalami reaksi plastisnya dan *settlement* juga akan bertambah.

Analisa stabilitas *support* dilakukan untuk mengetahui kestabilan support utama dalam melawan gaya *buoyancy* dan melawan *overturning moment*, *sliding*, dan *bearing capacity*. Analisa support dalam melawan gaya apung diketahui dengan menghitung berat support di udara, *buoyancy support*, dan berat tercelup *support*. Sedangkan analisa kemampuan support dalam menahan *moment overturning*,

sliding, dan *bearing capacity* dilakukan akibat support menerima beban dari pipa yang ditopangnya dan gaya-gaya hidrodinamis yang bekerja pada pipa dan support.



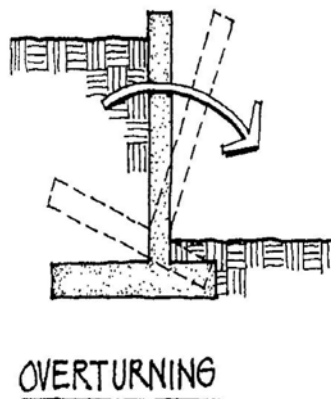
Gambar 2.6 Gaya yang bekerja pada support

2.2.7.1 Analisa Overturning

Analisa *overturning* pada support dilakukan untuk mengetahui kemampuan support dalam melawan momen yang bekerja pada support akibat gaya-gaya hidrodinamis yang mengenai support dan pipa pada ketinggian tertentu. Gaya-gaya tersebut dilawan oleh gaya vertikal kebawah support dan pipa yang ditopangnya. Dengan safety factor harus lebih besar dari 1,5.

$$SF = \frac{\text{Resisting Moment}}{\text{Overturning Moment}} > 1,5$$

Pers. 19

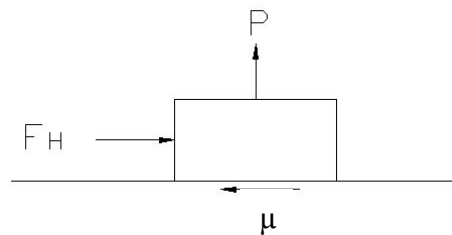


Gambar 2.7 Sketsa Overturning Moment

2.2.7.2 Analisa Sliding

Analisa *sliding* pada support dilakukan untuk mengetahui kemampuan support dalam melawan gaya luncur yang diakibatkan oleh gaya-gaya horizontal yang mengenai struktur. Gaya-gaya horizontal tersebut dilawan dengan gaya gesek support dengan tanah di bawahnya.

$$SF = \left(\frac{P \times \mu}{F_H} \right) > 1,5 \quad \text{Pers. 20}$$



Gambar 2.8 Gaya yang Terjadi pada Analisa Sliding

2.2.7.3 Analisa Bearing Capacity

Analisa *bearing capacity* dilakukan untuk mengetahui daya dukung tanah dalam menerima beban struktur di atasnya. Beban-beban tersebut bisa berupa beban vertical dan beban akibat momen yang terjadi pada struktur. Dimana hasil analisa menghasilkan kedalaman tanam support agar memenuhi faktor keamanan yang ditetapkan.

$$SF = \frac{Q_{ult}}{P_{base}} > 1,5 \quad \text{Pers. 21}$$

2.2.8 Penurunan Tanah

Secara garis besar penurunan tanah bisa disebabkan oleh beberapa hal antara lain (Whittaker and Reddish, 1989) sebagai berikut:

- Penurunan muka tanah alami (*natural subsidence*) yang disebabkan oleh proses-proses geologi seperti aktifitas vulkanik dan tektonik, siklus geologi, adanya rongga di bawah permukaan tanah dan sebagainya.
- Penurunan muka tanah yang disebabkan oleh pengambilan bahan cair dari dalam tanah seperti air tanah atau minyak bumi.
- Penurunan muka tanah yang disebabkan oleh adanya beban-beban berat di atasnya seperti struktur bangunan sehingga lapisan-lapisan tanah dibawahnya mengalami kompaksi/konsolidasi. Penurunan muka tanah ini sering juga disebut dengan *settlement*.

-

Menganggap bahwa jenis keruntuhan tanah di bawah pondasi adalah keruntuhan geser menyeluruh (*general shear failure*). Persamaan daya dukung batas atau bearing capacity yang disarankan oleh *Mayerhoff* adalah sebagai berikut :

Dengan koefisien daya dukung tergantung dengan sudut gesekan, seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 2.3**.

Tabel 2.3 Koefisien Daya Dukung Terzaghi

ϕ	N_c	N_q	N_γ	N'_c	N'_q	N'_γ
0°	5,71	1,00	0	3,81	1,00	0
5°	7,32	1,64	0	4,48	1,39	0
10°	9,64	2,70	1,2	5,34	1,94	0
15°	12,8	4,44	2,4	6,46	2,73	1,2
20°	17,7	7,43	4,6	7,90	3,88	2,0
25°	25,1	12,7	9,2	9,86	5,60	3,3
30°	37,2	22,5	20,0	12,7	8,32	5,4
35°	57,8	41,4	44,0	16,8	12,8	9,6
40°	95,6	81,2	114,0	23,2	20,5	19,1
45°	172	173	320	34,1	35,1	27,0

Sedangkan angka keamanan (*safety factor*) untuk *bearing capacity* adalah 3 (Braja M. Das, 1985). Yakni perbandingan antara *ultimate bearing capacity* dengan *bearing pressure allowable* harus sama dengan 3, seperti yang ditunjukkan pada persamaan berikut.

$$\frac{q_u}{q_{all}} = 3 \quad \text{Pers. 23}$$

Bearing pressure yang diizinkan adalah beban kombinasi antara beban vertikal dan berat struktur serta momen yang diakibatkan gaya-gaya hidrodinamis yang bekerja pada struktur.

$$q_{all} = \frac{W}{A_e} + \frac{M}{Z} \quad \text{Pers. 24}$$

$$Z = \frac{BH^2}{6} \quad \text{Pers. 25}$$

Dengan :

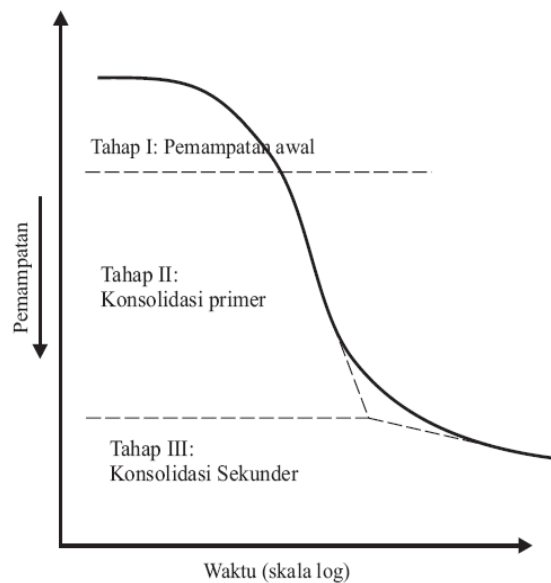
W = beban vertikal

A_e = luas bidang telapak

M = momen

B = lebar pondasi

H = tinggi pondasi



Gambar 2.10 Grafik waktu – pemampatan selama konsolidasi untuk suatu penimbunan beban

Keterangan Tingkatan Proses Konsolidasi:

- Konsolidasi Permulaan (*Initial Consolidation*)
Adalah pengurangan volume tanah yang tidak jenuh, pada waktu mendapat beban yang dipergunakan untuk mengeluarkan udara dari rongga udara.
- Konsolidasi Pertama (*Primary Consolidation*)
Pengurangan terus terhadap volume tanah, untuk mengeluarkan air dari rongga yang disertai dengan penggantian beban sehingga menimbulkan tekanan air pori.
- Konsolidasi Kedua (*Secondary Consolidation*)

Pemampatan tanah secara perlahan-lahan sesudah terjadi pengurangan tekanan pori sampai mencapai nol.

2.2.8.1 Konsolidasi

Tipe tanah yang ada pada *seabed* menjadi acuan untuk faktor kalibrasi gesek tanah (*Friction Calibration Factor*). Berikut adalah tabel penentuan kalibrasi gesek yang ada di aturan DNV RP E305 sesuai klasifikasi tanah.

Tabel 2.4 Penentuan Faktor Kalibrasi Gesek Tanah (DNV RP E305)

Typo Tanah	Faktor Kalibrasi Gesek
Clay	0,7

Untuk mendapatkan parameter kekerasan *seabed*, dapat ditentukan dengan menggunakan **Tabel 2.5** berikut ini,

Tabel 2.5 Parameter Kekasaran *Seabed* (DNV RP E305)

<i>Seabed</i>	<i>Grain Size d_{50} (mm)</i>	<i>Roughness Z_0 (m)</i>
Silt and clay	0.0625	$\approx 5 \times 10^{-6}$
Fine sand	0.25	$\approx 1 \times 10^{-5}$
Medium Sand	0.5	$\approx 4 \times 10^{-5}$
Coarse sand	1.0	$\approx 1 \times 10^{-4}$
Gravel	4.0	$\approx 3 \times 10^{-4}$
Pebble	25	$\approx 2 \times 10^{-3}$
Cobble	125	$\approx 1 \times 10^{-2}$
Boulder	500	$\approx 4 \times 10^{-2}$

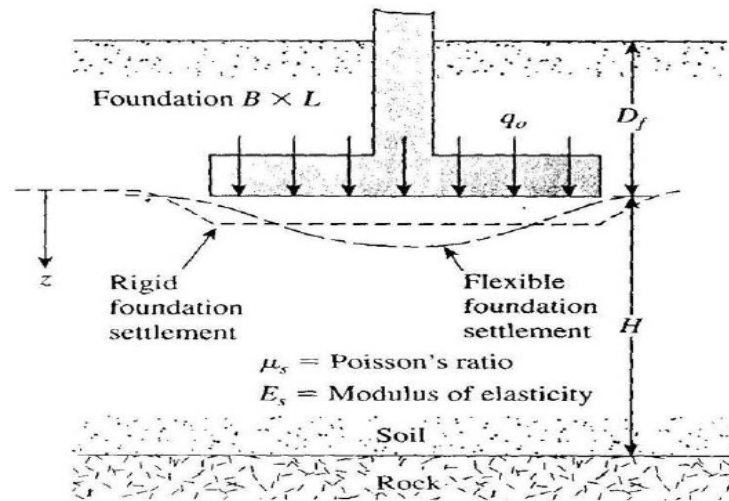
Pemampatan yang terjadi pada lapisan tanah dapat disebabkan berbagai macam faktor. Seperti penambahan beban dia atas suatu permukaan tanah dapat menyebabkan lapisan tanah di bawahnya mengalami pemampatan. Selain itu, juga dapat terjadi akibat adanya deformasi partikel tanah, relokasi partikel, keluarnya air atau udara dari dalam pori, dan sebab lain. Semua faktor tersebut mempunyai hubungan dengan keadaan tanah yang bersangkutan (Das, Braja M, 1985). Secara umum, Das, Braja M. (1985) menjelaskan bahwa penurunan pada tanah yang disebabkan oleh pembebanan dapat dibagi ke dalam dua kelompok besar, yaitu:

- Penurunan segera (*immediately settlement*)
- Penurunan konsolidasi (*consolidation settlement*)

2.2.8.2 Immediate Settlement

Immediate settlement atau disebut juga dengan penurunan segera (*elastic*) merupakan penurunan sebuah pondasi telapak pada suatu massa tanah segera setelah pemberian beban dalam dihitung dari sebuah persamaan dari teori elastisitas (Timoshenko dan Goodier, 1951). *Immediate settlement* merupakan akibat dari deformasi *elastic* tanah kering, basah, dan jenuh air tanpa adanya perubahan kadar air. Perhitungan penurunan segera umumnya didasarkan pada

penurunan yang diturunkan dari teori elastisitas. Penurunan seketika (*immediately settlement*) adalah penurunan yang langsung terjadi begitu pembebanan bekerja atau dilaksanakan, biasanya terjadi berkisar antara 0-7 hari dan terjadi pada pasir dan tanah liat yang mempunyai derajat kejenuhan ($S_r \%$) < 90%.



Gambar 2.11 Elastic Settlement of Flexible and Rigid Foundation (Braja M Das, 1985)

Rumus penurunan seketika (*immediately settlement*) dikembangkan berdasarkan teori elastic dari Thimoshenko dan Goodier (1951), sebagai berikut :

$$S_i = qB \frac{1-\mu^2}{E_s} I_w \quad \text{Pers. 26}$$

Dimana:

q = besarnya tegangan kontak

B = lebar pondasi

I_w = faktor pengaruh yang tergantung dari bentuk pondasi dan kekakuan pondasi (**Tabel 2.6**)

μ = angka *poisson's ratio* (**Tabel 2.7**)

E_s = sifat elastisitas tanah (untuk very soft clay 50-250 ksf atau 2-15 Mpa)

Dalam perhitungan penurunan seketika (*Immediately Settlement*) diperlukan faktor pengaruh bentuk pondasi dan kekakuan pondasi (I_w), angka *poisson ratio* (μ), dan sifat elastisitas tanah (E_s), yang dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2.6 Faktor pengaruh yang tergantung dari bentuk pondasi dan kekakuan pondasi (I_w)

	Flexible			Rigid	
	Shape	Center	Average	I_w	I_m
Circle	1.0	0.04	0.85	0.88	6.0
Square	1.12	0.56	0.95	0.82	3.7
Rectangle :					
L/B = 0.2	-	-	-	-	2.29
0.5	-	-	-	-	3.33
1.5	1.36	0.68	1.15	1.06	4.12
2.0	1.53	0.77	1.30	1.20	4.38
5.0	2.10	1.05	1.83	1.70	4.82
10.0	2.54	1.27	2.25	2.10	4.93
100.0	4.01	2.00	3.69	3.40	5.00

Sumber : Rekayasa Fundasi II, Penerbit Gunadarma

Tabel 2.7 Angka *Poisson's Ratio* (μ) menurut jenis tanah

Type of soil	μ
Clay saturated	0.4 – 0.5
Clay unsaturated	0.1 – 0.3
Sandy clay	0.2 – 0.3
Silt	0.3 – 0.35
Sand (dense)	0.2 – 0.4
Coarse (void ratio = 0.4 - 0.7)	0.15
Fined - grained (void ratio = 0.4 – 0.7)	0.25
Rock	0.1 – 0.4 (depends somewhat on type of rock)
Loess	0.1 – 0.3
Ice	0.36
Conerate	0.15

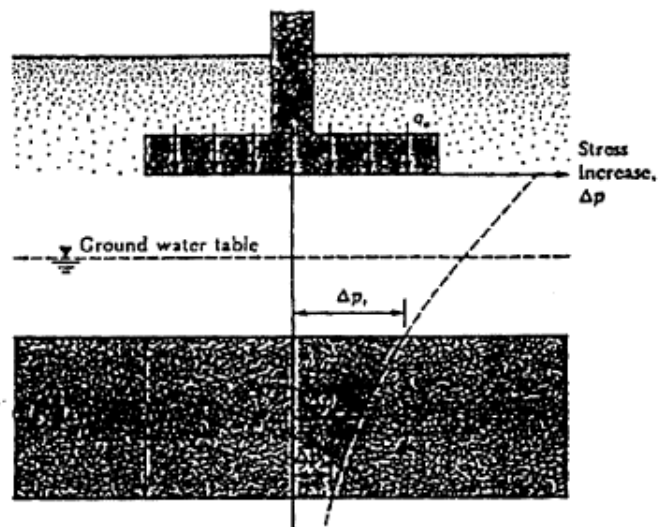
Sumber : Rekayasa Fundasi II, Penerbit Gunadarma

2.2.8.3 Consolidation Settlement

Consolidation settlement atau penurunan konsolidasi merupakan hasil dari perubahan volume tanah jenuh air sebagai akibat dari keluarnya air yang menempati pori-pori tanah. Keluarnya air dalam pori tanah diakibatkan beban yang bekerja pada pondasi yang besarnya ditentukan oleh waktu pembebanan dan terjadi pada tanah jenuh ($S_r = 100\%$) atau yang mendekati jenuh ($S_r = 90\%-100\%$) atau pada tanah berbutir halus, yang mempunyai harga $K \leq 10^{-6}$ m/s.

Terzaghi (1925) memperkenalkan teori konsolidasi satu arah (*one way*) yang pertama kali untuk tanah lempung jenuh air. Teori ini menyajikan cara penentuan

distribusi kelebihan tekanan hidrostatik dalam lapisan yang sedang mengalami konsolidasi pada sembarang waktu setelah bekerjanya beban. Beberapa asumsi dasar dalam analisis konsolidasi satu arah antara lain: tanah bersifat homogen, derajat kejenuhan tanah 100% (jenuh sempurna), partikel atau butiran tanah dan air bersifat inkompresibel (tak termampatkan), arah pemampatan dan aliran air pori terjadi hanya dalam arah vertikal. Ketebalan lapisan tanah yang diperhitungkan adalah setebal lapisan tanah lempung jenuh air yang ditinjau.



Sumber : Rekayasa Fundasi II, Penerbit Gunadarma

Gambar 2.12 Penurunan Konsolidasi

Tekanan *preconsolidation* (P_c) menunjukkan tekanan maksimum yang dimungkinkan terjadi pada tanah. tekanan ini ditentukan oleh *e-logp curve* (*laboratory test curve*). Prosedur tersebut dilakukan pertama kali oleh *Casagrande*. Tekanan efektif rata-rata pada layer sebelum adanya penempatan konstruksi pondasi dapat ditunjukkan dengan persamaan berikut,

$$P_o = \gamma_s(1+z) \quad \text{Pers. 27}$$

Dengan :

P_o = Tekanan efektif oleh tanah

γ_s = Densitas Soil

z = Ketebalan Layer

Untuk pertambahan tekanan rata-rata pada layer *clay* yang disebabkan karena adanya konstruksi pondasi dapat ditunjukkan dengan persamaan berikut,

$$dP = 4I_R q$$

Pers. 28

Dengan :

dP = Penambahan Tekanan rata-rata

I_R = *Influence factor*

q = Beban yang diterima pondasi

Dalam perhitungan penambahan tekanan rata-rata pada layer juga terdapat pengaruh dari bentuk pondasi. Besarnya pengaruh dari bentuk dan dimensi panjang dan lebar pondasi dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan *influence factor* di bawah ini.

$$I_R = \frac{1}{4} \left(\frac{2mn \sqrt{m^2+n^2+1} m^2+n^2+2}{m^2+n^2+1+n^2 m^2+n^2+1} + \sin^{-1} \left(\frac{2mn \sqrt{m^2+n^2+1}}{m^2+n^2+1+m^2 n^2} \right) \right) \quad \text{Pers. 29}$$

Dengan :

I_R = *influence factor*

$m = \frac{B}{z}$

$n = \frac{L}{z}$

Dimana,

B = Lebar Pondasi

L = Panjang Pondasi

Dalam penentuan konsolidasi, perlu dilakukan perhitungan faktor waktu terjadinya konsolidasi. Perhitungan faktor waktu dapat ditunjukkan pada persamaan di bawah ini.

$$Tv = \left(\frac{C_v t}{H^2} \right) \quad \text{Pers. 30}$$

Dengan :

Tv = *time factor*

c_v = *consolidation rate*

t = waktu

H = kedalaman lapisan tanah

Menurut Cernica (1995), presentase konsolidasi (U) pada kedalaman tertentu dengan waktu adalah :

$$U = 1 - \frac{8}{\pi^2} e \left(-\pi^2 \frac{T_v}{4} \right); \text{ if } T_v > 0.2 \quad \text{Pers. 31}$$

$$U = \sqrt{\left(4 \frac{T_v}{\pi} \right)}; \text{ if } T_v \leq 0.2 \quad \text{Pers. 32}$$

Dengan,

U = Presentase konsolidasi

T_v = *Time Factor*

Untuk menentukan penurunan konsolidasi yang terjadi dilakukan dengan memperhitungkan faktor presentase konsolidasi yang telah diperhitungkan sebelumnya. Perkiraan konsolidasi dapat diketahui menggunakan persamaan dibawah ini.

$$E_c = U S_c \quad \text{Pers. 33}$$

Dengan,

E_c = Perkiraan Konsolidasi

S_c = Penurunan konsolidasi

Adapun syarat yang harus diperhatikan dalam perhitungan penurunan (*settlement*) pada kondisi tanah normal konsolidasi, adalah sebagai berikut :

$$P_c \leq P_o$$

$$S_{cp} = \frac{C_c \cdot H}{1 + e_o} \left(\log \frac{P_o + \Delta P}{P_o} \right)$$

Pers. 34

Dimana,

S_{cp} = penurunan / *Settlement* (cm)

C_c = indeks kompresi tanah

e_o = angka pori

H = tebal lapisan tanah

U = derajat konsolidasi

ΔP = tambahan tegangan

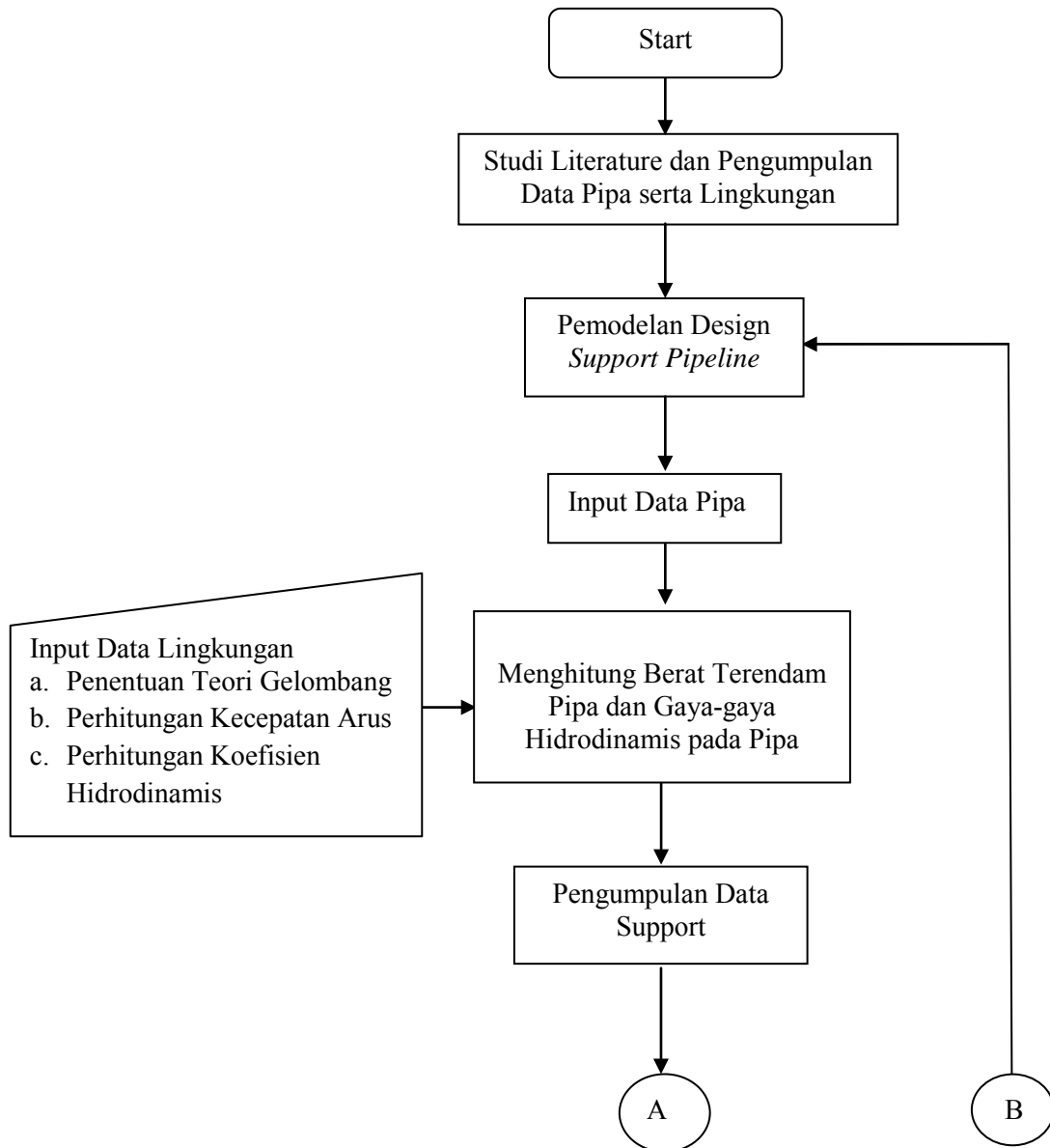
P_o = tegangan efektif overburden

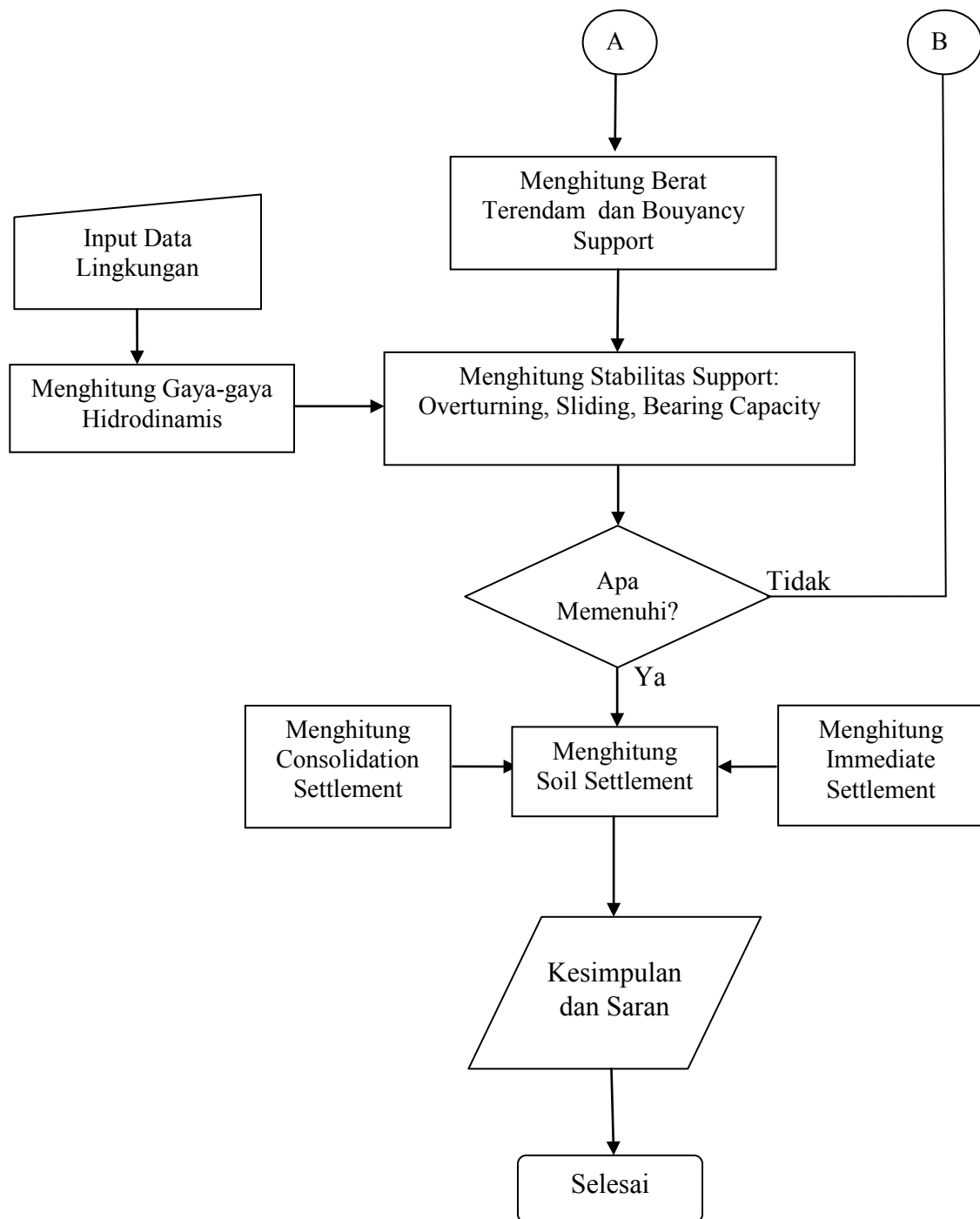
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir





3.2 Penjelasan Metodologi Penelitian

Adapun langkah-langkah penelitian dalam diagram alir pada gambar diatas dapat dijelaskan sebagai berikut

1. Pengumpulan Data

Pengumpulan data untuk *crossing* pipa ini meliputi :

- a. Data desain *crossing* pipa
- b. Data material pipa, tekanan yang diterima pipa, jenis fluida yang dibawa oleh pipa, ukuran pipa dan sebagainya
- c. Data lingkungan tempat pipa terpasang
- d. Data tanah dan koefisiennya di lokasi pipa terpasang

2. Perhitungan Berat Pipa

Analisa ini dilakukan untuk mengetahui berat pipa baik pada saat di udara, berat tercelup pipa dan *bouyancy* pipa pada saat berada dalam air, serta menghitung gaya-gaya hidrodinamis yang terjadi pada pipa akibat beban lingkungan. Gaya drag, gaya lift dan gaya inersia adalah gaya yang diperhitungkan.

3. Perhitungan Berat Total pada *Support* Pipa

Dalam kasus *crossing* ini terdapat jarak aman yang harus dipenuhi yaitu 0.3 meter, sehingga digunakan *concrete support* untuk menjaga jarak antar pipa tersebut. Beban support serta beban yang diterima oleh *support* pipa yang berupa pipa, digunakan untuk menghitung daya dukung pondasi tersebut.

4. Perhitungan kedalaman penetrasi *support*

Perhitungan ini untuk memenuhi *bearing pressure* yang diizinkan.

5. Perhitungan Stabilitas *Support*

Dengan mempertimbangkan gaya – gaya hidrodinamis yang disebabkan oleh lingkungan. Gaya drag, gaya lift dan gaya inersia adalah gaya yang diperhitungkan. Kemudian gaya-gaya tersebut digunakan untuk menghitung daya dukung pondasi (*Support*) antara lain *overturning* dan *sliding*.

6. Perhitungan Total *Settlement* Akibat *Support* Pipa

Beban yang diterima oleh support pipa akan menyebabkan terjadinya penurunan tanah dibawahnya. Oleh sebab itu diperlukan adanya perhitungan penurunan tanah, untuk memastikan selama proses instalasi, *hydrotest* dan

operasi tidak ada resiko yang dapat berakibat fatal dimana jarak antar pipa oleh DNV OS-F101 minimum adalah 0,3 meter.

7. Kesimpulan

Dari seluruh analisa dapat ditarik kesimpulan yang dapat bermanfaat serta saran-saran untuk penelitian berikutnya

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengumpulan Data

Studi kasus yang di pakai adalah proyek saluran pipa bawah laut yang mengalirkan gas dari sebuah *platform* B menuju KCOM dengan masa layanan selama 13 tahun. Pipa tersebut mengalami kondisi bersilangan (*crossing*) di Kilometer Point 13,87 dengan membentuk sudut silangan sebesar $35,26^0$ dengan pipa milik PT. Pertamina Hulu Energy sendiri. Data yang disajikan meliputi data jenis material beserta dimensinya dan data lingkungan yang diperoleh dari data desain pipa gas milik PT. Pertamina Hulu Energy dan parameter lingkungan di Selat Sunda baik dalam kondisi operasi. Data pipa, data *support* dan data lingkungan dapat dilihat pada tabel-tabel penyajian di bawah ini.

4.1.1 Data Pipa

Data pipa mengenai jenis material dan dimensi pipa mengambil data dari desain pipa gas milik PT. Pertamina Hulu Energy yang meliputi diameter, ketebalan, material, korosi yang diijinkan, modulus elastisitas, angka poison dan densitas pipa. Data *external corrosion coating* pipa yang terdiri dari tipe material, densitas dan ketebalannya.

➤ Data Umum Pipa

Tabel 4.1 Data Umum Pipa

Parameter	Unit	12" B-KCOM GL pipeline
OD	mm	323.85
Wall Thickness	mm	12.7
Material	-	API 5L Grade 52MO or 52QO PSL2 CS
SMYS	Mpa	360.0 (52.20 ksi)
SMTS	Mpa	460.0 (66.70 ksi)
Young Modulus	Mpa	2.70×10^5 (30022.9 ksi)
Poison Ratio	-	0.3
Steel Density	Kg/m ³	7850
Corrosion Allowance	mm	3

➤ Data Operasi

Data ini digunakan untuk mengetahui parameter-parameter yang diperlukan dalam perhitungan di masa operasi pipa. Data operasional pipa adalah sebagai berikut,

Tabel 4.2 Data Operasi

Description	Unit	Value
Design Pressure	Psig	950
Hydrotest Pressure	Psig	1330
Operating Pressure	Psig	660
Mechanical Design Temperature	F	200
Operating Temperature	F	110

➤ Data Eksternal Corrosion Coating

Data *eksternal corrosion coating* terdiri dari tipe densitas dan ketebalan selimut korosi yang digunakan untuk melindungi pipa dari kejadian korosi.

Tabel 4.3 Data Eksternal Corrosion Coating

Parameters	Unit	Value
Density	Kg/m ³	1281.5
Thickness	Mm	4

➤ Data Concrete Coating

Data *concrete coating* yang digunakan berisi densitas, modulus elastisitas dan ketebalan *concrete coating* yang digunakan untuk melindungi pipa dari gaya luar dan menambah berat pipa untuk kestabilan pipa. Data dapat dilihat pada **Tabel 4.4**.

Tabel 4.4 Data Concrete Coating

Parameters	Unit	Value
Density	Kg/m ³	3044
Young's Modulus	Gpa	22
Thickness	Mm	38

4.1.2 Data Lingkungan

Data lingkungan ini berupa data gelombang, data arus, data tanah serta data kedalaman lokasi, yaitu 30 meter.

➤ Data Gelombang

Data gelombang terdiri dari data tinggi gelombang dan periode gelombang selama masa instalasi, hydrotest dan operasi. Data dapat dilihat pada **Tabel 4.5.**

Tabel 4.5 Data Gelombang

Description		Unit	Return Periode (Years)		
			1	10	100
Significant Wave Height	Hs	m	1,80	2,79	3,60
Significant Wave Periode	Ts	s	6,30	7,30	8,30
Wave Peak Periode	Tp	s	6,30	7,11	9,00

➤ Data Arus

Data arus terdiri dari data kecepatan arus selama masa instalasi, hydrotest dan operasi.

Tabel 4.6 Data Arus

Description	Unit	Return Periode (Years)		
		1	10	100
Current Speed at 0 % of Depth	(m/s)	0,72	0,94	1,15
Current Speed at 10 % of Depth	(m/s)	0,62	0,78	0,93
Current Speed at 20 % of Depth	(m/s)	0,54	0,66	0,77
Current Speed at 30 % of Depth	(m/s)	0,48	0,57	0,65
Current Speed at 40 % of Depth	(m/s)	0,44	0,50	0,56
Current Speed at 50 % of Depth	(m/s)	0,41	0,46	0,50
Current Speed at 60 % of Depth	(m/s)	0,39	0,42	0,45
Current Speed at 70 % of Depth	(m/s)	0,37	0,40	0,42
Current Speed at 80 % of Depth	(m/s)	0,36	0,38	0,39
Current Speed at 90 % of Depth	(m/s)	0,35	0,37	0,38
Current Speed at 100 % of Depth	(m/s)	0,34	0,35	0,36

➤ Data Tanah

Tipe tanah yang digunakan adalah very soft clay, yang terdiri dari berat total tanah, angka poisson, koefisien gesek, angka void, kohesi tanah. Data-data dapat dilihat pada **Tabel 4.7**.

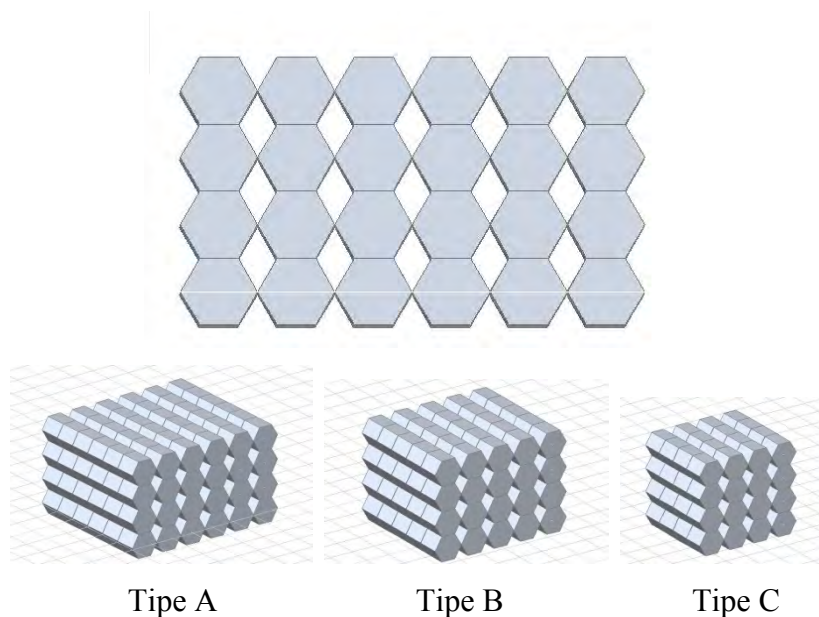
Tabel 4.7 Data Tanah

Parameter	Unit	Value
Soil Type	-	Very Soft Clay
Angle Friction	Deg	0.0
Submerged Weight	Kg/m ³	815.7
Poisson Ratio	-	0.3
Consolidation Rate	m ² /year	3.816
Coefficient Friction	-	0.2
Void Ratio	-	2.61
Soil Cohesion	kPa	6
Compresion Ratio	-	0.47
Decompresion Ratio	-	0.05

4.1.3 Data Support

Data support yang diperoleh dari PT. Pertamina Hulu Energy menunjukkan bahwa support berjenis *concrete mattress* dengan ukuran dan tipe sebagai berikut.

➤ Support Concrete Mattress 1

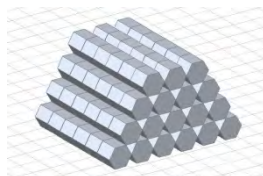
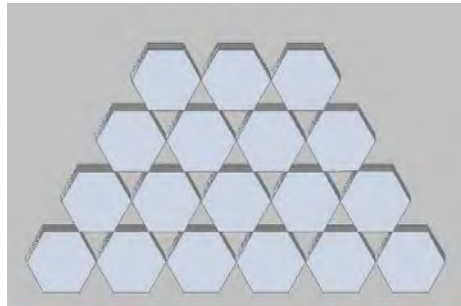


Gambar 4.1 Support Pipeline Tipe Concrete Mattress 1

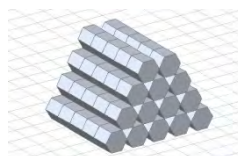
Tabel 4.8 Detail Dimensi Support 1

		Tipe A	Tipe B	Tipe C
Length (L)	m	3	2,5	2
Bottom Width (B)	m	3	2,5	2
Height of individual Mattress	m	0,3	0,3	0,3
No. of Mattress	-	4	4	4
Total Height (H)	m	1,2	1,2	1,2
Volume of each Mattress	m ³	1,2	1,2	1,2
Volume Concrete Mattress	m ³	4,8	3,33	2,13

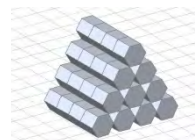
➤ Support Concrete Mattress 2



Tipe A



Tipe B



Tipe C

Gambar 4.2 Support Pipeline Tipe Concrete Mattress 2**Tabel 4.9** Detail Dimensi Support 2

		Tipe A	Tipe B	Tipe C
Length (L)	m	3	2,5	2
Bottom Width (B)	m	3	2,5	2
Height of individual Mattress	m	0,3	0,3	0,3
No. of Mattress	-	4	4	4
Total Height (H)	m	1,2	1,2	1,2
Volume of each Mattress	m ³	1,2	1,2	1,2
Volume Concrete Mattress	m ³	3,6	2,33	1,33

4.2 Stabilitas Pipa

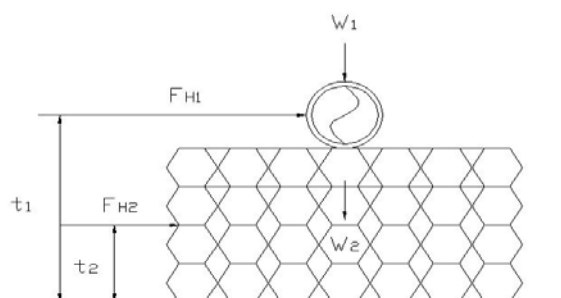
Stabilitas pipa bawah laut terkait dengan gaya-gaya hidrodinamis karena keberadaannya dalam fluida yang bergerak. Gaya hidrodinamis yang mengenai pipa antara lain gaya drag (*drag force*), gaya inersia (*inertia force*) dan gaya angkat (*lift force*). Gaya-gaya hidrodinamis sangat berpengaruh pada kestabilan struktur. Gaya-gaya hidrodinamis seperti gaya drag, gaya inersia dan gaya angkat yang bekerja pada pipa tersebut diasumsikan bekerja secara tegak lurus terhadap pipa dengan dilawan oleh gaya normal. Dari analisa yang dilakukan pada kondisi pipa baik kondisi operasi maka diperoleh -nilai yang ditunjukkan pada **Tabel 4.10** berikut ini.

Tabel 4.10 Hasil Perhitungan Gaya Hidrodinamis pada Pipa

Kondisi	Ketinggian dari Seabed	Gaya Hidrodinamis		
		F_D	F_I	F_L
Operation	0 m	83,316	468,751	96,134
	1,35 m	53,501	470,370	61,733

4.3 Analisa Stabilitas Support

Analisa stabilitas *support* dilakukan untuk mengetahui kestabilan support utama dalam melawan gaya *buoyancy* dan melawan *overturning moment*, *sliding*, dan *bearing capacity*. Analisa support dalam melawan gaya apung diketahui dengan menghitung berat support di udara, *buoyancy support*, dan berat tercelup *support*. Sedangkan analisa kemampuan support dalam menahan *moment overturning*, *sliding*, dan *bearing capacity* dilakukan akibat support menerima beban dari pipa yang ditopangnya dan gaya-gaya hidrodinamis yang bekerja pada pipa dan support.



Gambar 4.3 Gaya yang bekerja pada support

4.3.1 Analisa Stabilitas Vertikal Support

Analisa stabilitas vertikal dilakukan untuk mengetahui apakah dalam prakteknya support yang memiliki berat tertentu ketika dipasang mampu untuk melawan gaya apung ketika tercelup air. Terdapat ketentuan stabilitas vertikal support secara vertikal yang memenuhi menurut DNV RP-E305 yaitu seperti yang ditunjukkan pada persamaan berikut.

$$SF_V = \frac{Ws + B}{B} \geq 1,1$$

Tabel 4.11 Hasil Analisa Stabilitas Vertikal

Tipe Support 1	Analisa Stabilitas Vertikal		
	Ws	B	Check
	N	N	SF > 1,1
A	85959,84	48265,20	2,78
B	59694,33	33517,50	2,78
C	38204,37	21451,20	2,78
Tipe Support 2	Analisa Stabilitas Vertikal		
	Ws	B	Check
	N	N	SF > 1,1
A	64469,88	36198,90	2,78
B	41786,03	23462,25	2,78
C	23877,73	13407,00	2,78

4.3.2 Analisa Stabilitas Lateral Support

Analisa stabilitas lateral dilakukan untuk mengetahui besar gaya yang dimiliki oleh support untuk melawan gaya-gaya hidrodinamis yang mengenai support. Gaya-gaya hidrodinamis seperti gaya drag, gaya inersia dan gaya angkat yang bekerja pada support tersebut diasumsikan bekerja secara tegak lurus terhadap support dengan dilawan oleh gaya normal dan gesekan support dengan media alas

(*seabed*). Sedangkan kriteria penerimaan stabilitas support secara lateral sesuai dengan DNV RP-E305 ditunjukkan pada persamaan di bawah ini.

$$SF_L = \frac{(Ws + F_L) \cdot \mu}{F_D + F_I} \geq 1,1$$

Tabel 4.12 Hasil Analisa Stabilitas Lateral

Jenis Support	Tipe Support	Gaya Hidrodinamis			Check	Keterangan
		F _D	F _I	F _L	SF _L ≥ 1,1	
Support 1	Tipe A	370,89	3371,90	303,21	4,5771	OK
	Tipe B	257,56	2341,60	303,21	4,5700	OK
	Tipe C	164,84	1498,62	303,21	4,5568	OK

Jenis Support	Tipe Support	Gaya Hidrodinamis			Check	Keterangan
		F _D	F _I	F _L	SF _L ≥ 1,1	
Support 2	Tipe A	370,89	2528,93	303,21	4,4255	OK
	Tipe B	257,56	1639,12	303,21	4,3742	OK
	Tipe C	164,84	936,64	303,21	4,2805	OK

4.3.3 Analisa Overturning

Analisa *overturning* pada support dilakukan untuk mengetahui kemampuan support dalam melawan momen yang bekerja pada support akibat gaya-gaya hidrodinamis yang mengenai support dan pipa pada ketinggian tertentu. Gaya-gaya tersebut dilawan oleh gaya vertikal kebawah support dan pipa yang ditopangnya. Dari hasil analisa *overturning* yang dialami oleh support dalam

kondisi operasi dapat dilihat pada **Tabel 4.13** dan **Tabel 4.14** berikut. Dengan safety factor harus lebih besar dari 1,5

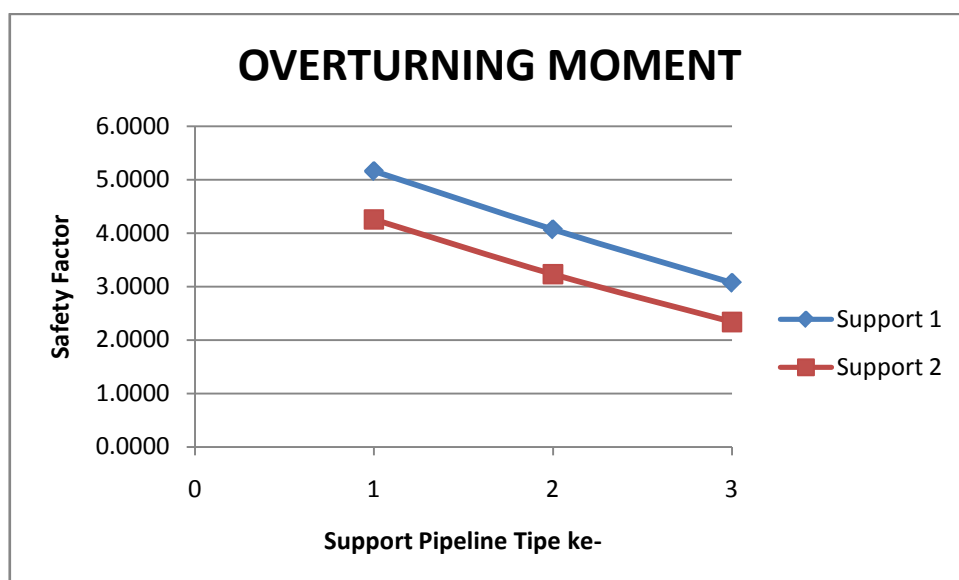
$$SF = \frac{\text{Resisting Moment}}{\text{Overturning Moment}} > 1,5$$

Tabel 4.13 Hasil Analisa Overturning pada Support 1

Tipe Support 1	Analisa Overturning		
	Resisting Moment	Overturning Moment	Check
	N/m	N/m	SF > 1,5
A	61309,946	11877,591	5,161
B	45550,642	11191,410	4,070
C	32656,666	10629,990	3,021

Tabel 4.14 Hasil Analisa Overturning pada Support 2

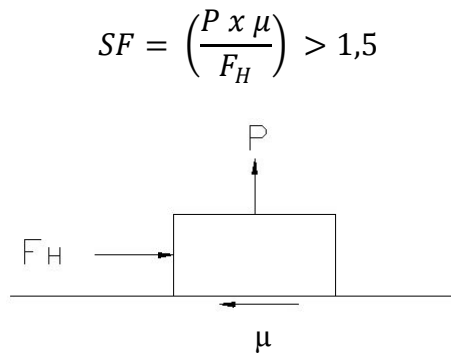
Tipe Support 2	Analisa Overturning		
	Resisting Moment	Overturning Moment	Check
	N/m	N/m	SF > 1,5
A	48415,970	11371,805	4,257
B	34805,662	10769,921	3,231
C	24060,682	10292,798	2,336



Gambar 4.4 Grafik Perbandingan Analisis Overturning Moment

4.3.4 Analisa Sliding

Analisa *sliding* pada support dilakukan untuk mengetahui kemampuan support dalam melawan gaya luncur yang diakibatkan oleh gaya-gaya horizontal yang mengenai struktur. Gaya-gaya horizontal tersebut dilawan dengan gaya gesek support dengan tanah di bawahnya. Hasil analisa sliding dapat dilihat pada **Tabel 4.15** dan **Tabel 4.16** di bawah ini.



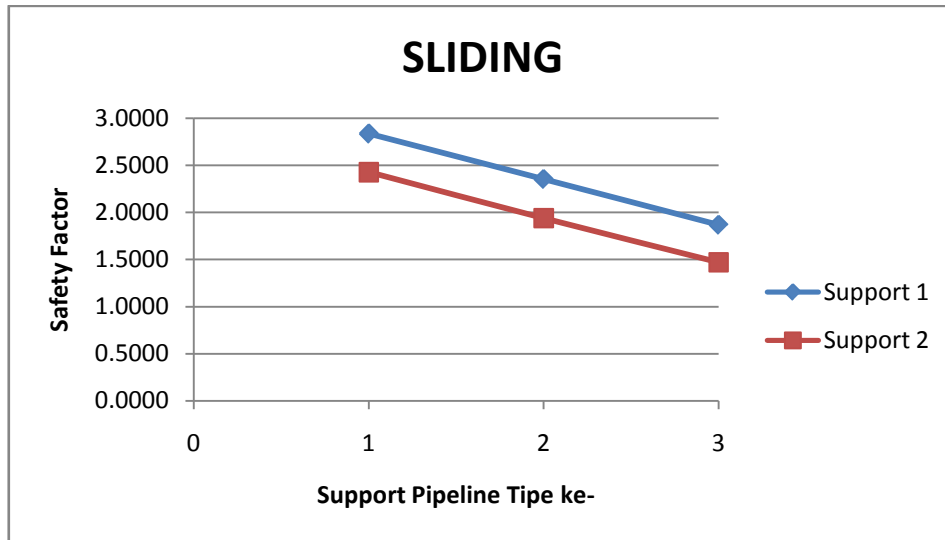
Gambar 4.5 Gaya yang Terjadi pada Analisa Sliding

Tabel 4.15 Hasil Analisa Sliding pada Suppot 1

Tipe Support 1	Analisa Sliding
	Check
	SF > 1,5
A	2,8345
B	2,3549
C	1,8691

Tabel 4.16 Hasil Analisa Sliding pada Suppot 2

Tipe Support 2	Analisa Sliding
	Check
	SF > 1,5
A	2,4276
B	1,9403
C	1,4718



Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Analisis Sliding

4.3.5 Analisa Bearing Capacity

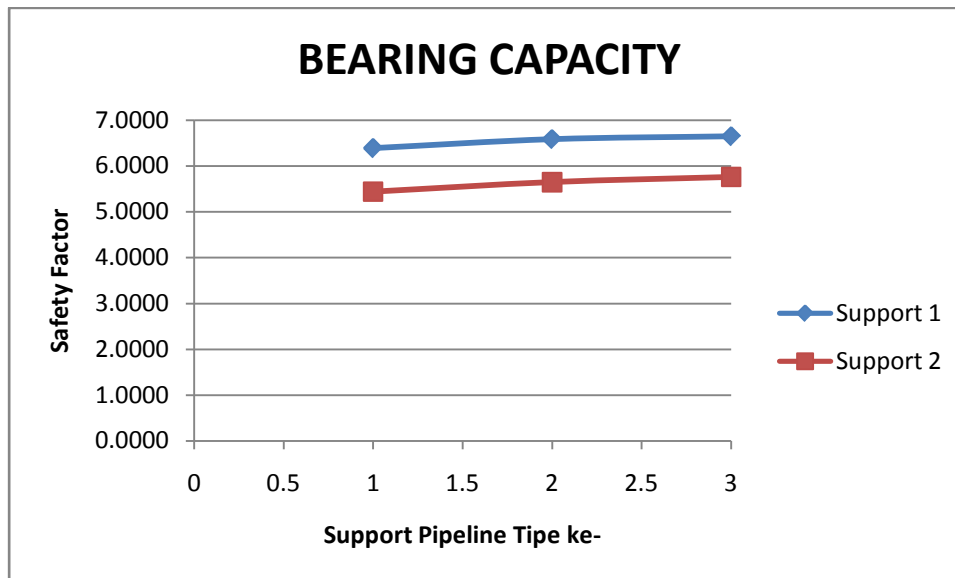
Analisa *bearing capacity* dilakukan untuk mengetahui daya dukung tanah dalam menerima beban struktur di atasnya. Beban-beban tersebut bisa berupa beban vertical dan beban akibat momen yang terjadi pada struktur. Dimana hasil analisa menghasilkan kedalaman tanam support agar memenuhi faktor keamanan yang ditetapkan.

Tabel 4.17 Hasil Analisa Bearing Capacity pada Support 1

Tipe Support 1	Analisa Bearing Capacity
	Check
	SF > 1,5
A	6,3881
B	6,5872
C	6,6510

Tabel 4.18 Hasil Analisa Bearing Capacity pada Support 2

Tipe Support 2	Analisa Bearing Capacity
	Check
	SF > 1,5
A	5,4406
B	5,6475
C	5,7601



Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Analisis Bearing Capacity

4.4 Analisa Penurunan Tanah (*Settlement*)

Analisa *settlement* terdiri dari analisa penurunan segera (*immediate settlement*) dan penurunan konsolidasi (*consolidation settlement*). Analisa penurunan segera (*immediate settlement*) dilakukan karena tanah yang dikenai pembebanan awal akan mengalami deformasi elastis tanpa menyebabkan hilangnya muatan air yang terkandung dalam tanah tersebut. Sedangkan analisa penurunan konsolidasi (*consolidation settlement*) dilakukan karena tanah yang dikenai pembebanan berkelanjutan akan mengalami deformasi akibat perubahan volume tanah jenuh air sebagai akibat dari keluarnya air yang mempati pori-pori tanah. Analisa *settlement* ini sangat perlu dilakukan untuk mengetahui jarak aman vertikal (*clearance*) pipa terhadap *existing line* di bawahnya.

4.4.1 Penurunan Tanah pada Support 1 Tipe A

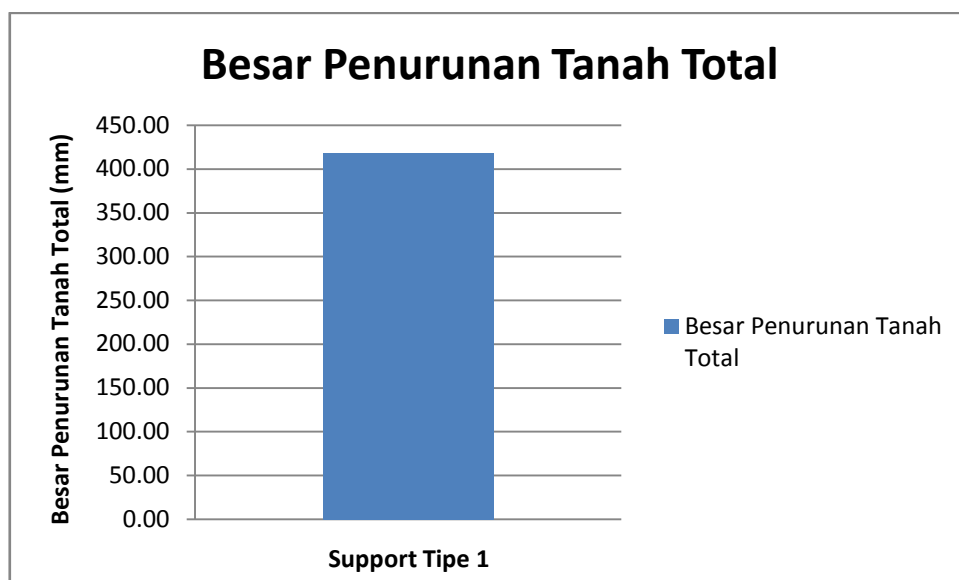
Penurunan tanah yang terjadi pada support *concrete mattress* tipe A dapat dilihat pada **Gambar 4.8**. Pada **Gambar 4.8** di bawah ini menunjukkan penurunan tanah tiap kedalaman lapisan (*layer*). Pada lapisan tanah yang pertama penurunan sangat besar diakibatkan karena lapisan tersebut menerima beban secara langsung dari pondasi. Kemudian penurunan berangsur-angsur menurun karena terjadi pengurangan tekanan rata-rata akibat pengaruh ketebalan lapisan tanah. Penurunan tersebut berhenti hingga pada kedalaman 11 meter karena setelah pada

kedalaman tersebut terdapat tanah keras atau bebatuan sehingga tidak terjadi penurunan tanah.



Gambar 4.8 Grafik Penurunan Tanah Tiap Layer Support *Concrete Mattress* 1 Tipe A

Total penurunan tanah yang terjadi pada kondisi operasi dapat dilihat pada **Gambar 4.9** di bawah ini.

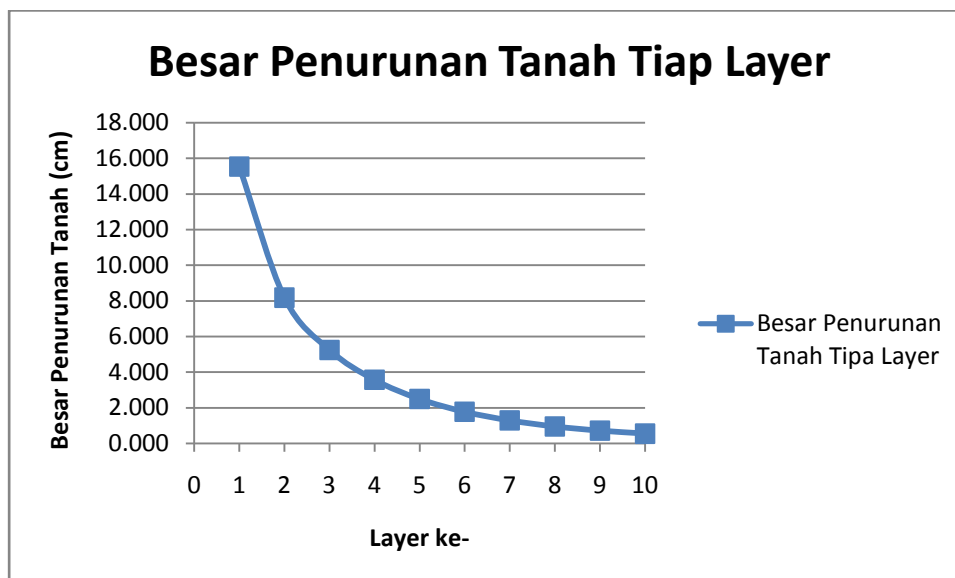


Gambar 4.9 Grafik Penurunan Tanah Total pada Support *Concrete Mattress* 1 Tipe A

Dari **Gambar 4.9** di atas dapat diketahui bahwa besar penurunan tanah yang terjadi adalah 418,61 mm. Dari **Gambar 4.9** di atas juga dapat diketahui bahwa penurunan rata-rata untuk support tipe A adalah 32,2 mm tiap tahunnya berdasarkan dari total penurunan selama masa operasi 13 tahun. Dengan jarak aman antar pipa (*clearance*) adalah sekitar 0,65 meter, maka jarak tersebut akan terlampaui pada tahun ke-8 operasi.

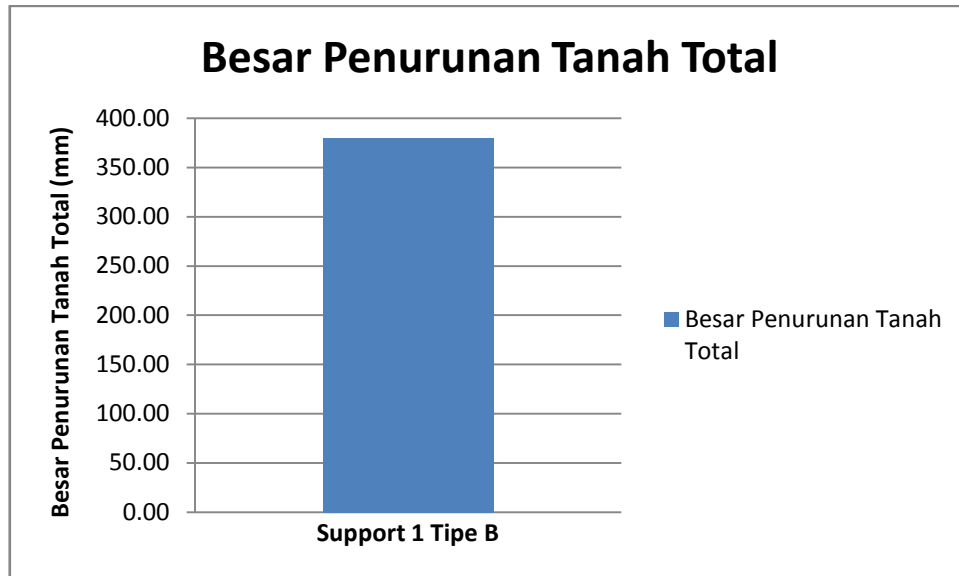
4.4.2 Penurunan Tanah pada Support 1 Tipe B

Penurunan tanah yang terjadi pada support *concrete mattress* tipe A dapat dilihat pada **Gambar 4.10**. Pada **Gambar 4.10** di bawah ini menunjukkan penurunan tanah tiap kedalaman lapisan (*layer*). Pada lapisan tanah yang pertama penurunan sangat besar diakibatkan karena lapisan tersebut menerima beban secara langsung dari pondasi. Kemudian penurunan berangsur-angsur menurun karena terjadi pengurangan tekanan rata-rata akibat pengaruh ketebalan lapisan tanah. Penurunan tersebut berhenti hingga pada kedalaman 11 meter karena setelah pada kedalaman tersebut terdapat tanah keras atau bebatuan sehingga tidak terjadi penurunan tanah.



Gambar 4.10 Grafik Penurunan Tanah Tiap Layer Support 1 *Concrete Mattress* Tipe B

Total penurunan tanah yang terjadi pada kondisi operasi dapat dilihat pada **Gambar 4.11** di bawah ini.



Gambar 4.11 Grafik Penurunan Tanah Total pada Support 1 *Concrete Mattress* Tipe B

Dari **Gambar 4.11** di atas dapat diketahui bahwa besar penurunan tanah yang terjadi adalah 380,25 mm. Dari **Gambar 4.11** di atas juga dapat diketahui bahwa penurunan rata-rata untuk support tipe B adalah 29,25 mm tiap tahunnya berdasarkan dari total penurunan selama masa operasi 13 tahun. Dengan jarak aman antar pipa (*clearance*) adalah sekitar 0,65 meter, maka jarak tersebut akan terlampaui pada tahun ke-10 operasi.

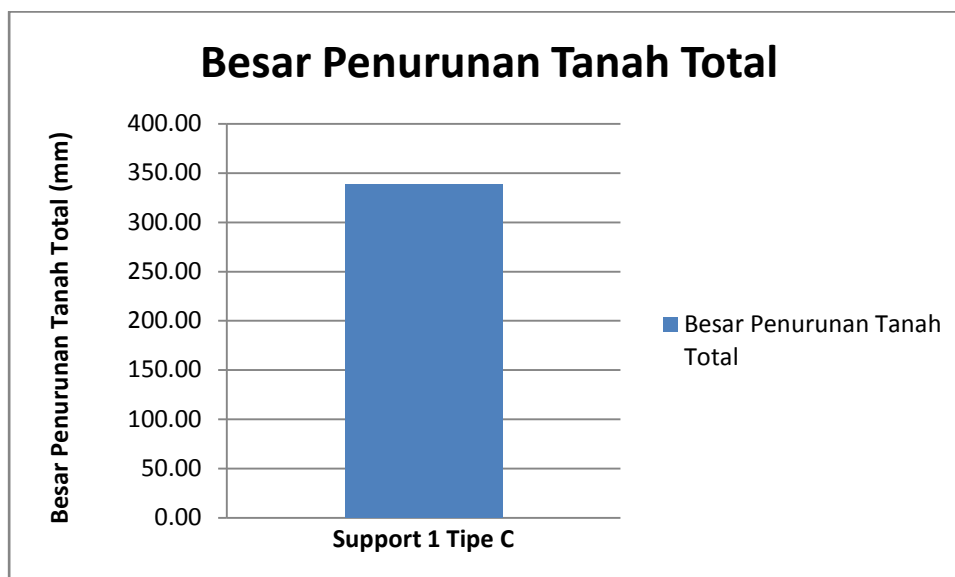
4.4.3 Penurunan Tanah pada Support 1 Tipe C

Penurunan tanah yang terjadi pada support *concrete mattress* tipe A dapat dilihat pada **Gambar 4.12**. Pada **Gambar 4.12** di bawah ini menunjukkan penurunan tanah tiap kedalaman lapisan (*layer*). Pada lapisan tanah yang pertama penurunan sangat besar diakibatkan karena lapisan tersebut menerima beban secara langsung dari pondasi. Kemudian penurunan berangsur-angsur menurun karena terjadi pengurangan tekanan rata-rata akibat pengaruh ketebalan lapisan tanah. Penurunan tersebut berhenti hingga pada kedalaman 11 meter karena setelah pada kedalaman tersebut terdapat tanah keras atau bebatuan sehingga tidak terjadi penurunan tanah.



Gambar 4.12 Grafik Penurunan Tanah Tiap Layer Support 1 *Concrete Mattress* Tipe C

Total penurunan tanah yang terjadi pada kondisi operasi dapat dilihat pada **Gambar 4.13** di bawah ini.



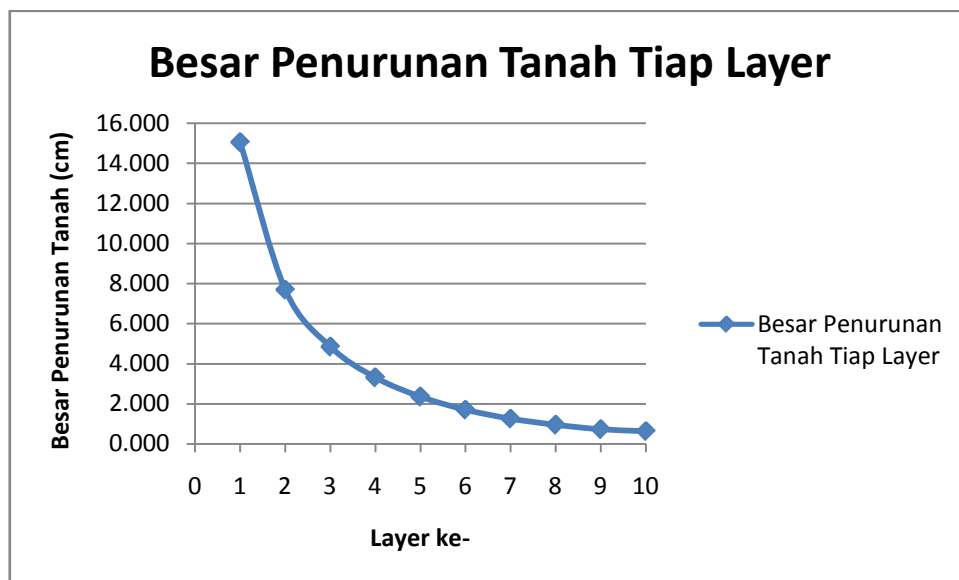
Gambar 4.13 Grafik Penurunan Tanah Total pada Support 1 *Concrete Mattress* Tipe C

Dari **Gambar 4.13** di atas dapat diketahui bahwa besar penurunan tanah yang terjadi adalah 338,48 mm. Dari **Gambar 4.13** di atas juga dapat diketahui bahwa penurunan rata-rata untuk support tipe B adalah 26,03 mm tiap tahunnya

berdasarkan dari total penurunan selama masa operasi 13 tahun. Dengan jarak aman antar pipa (*clearance*) adalah sekitar 0,65 meter, maka jarak tersebut akan aman selama masa operasi.

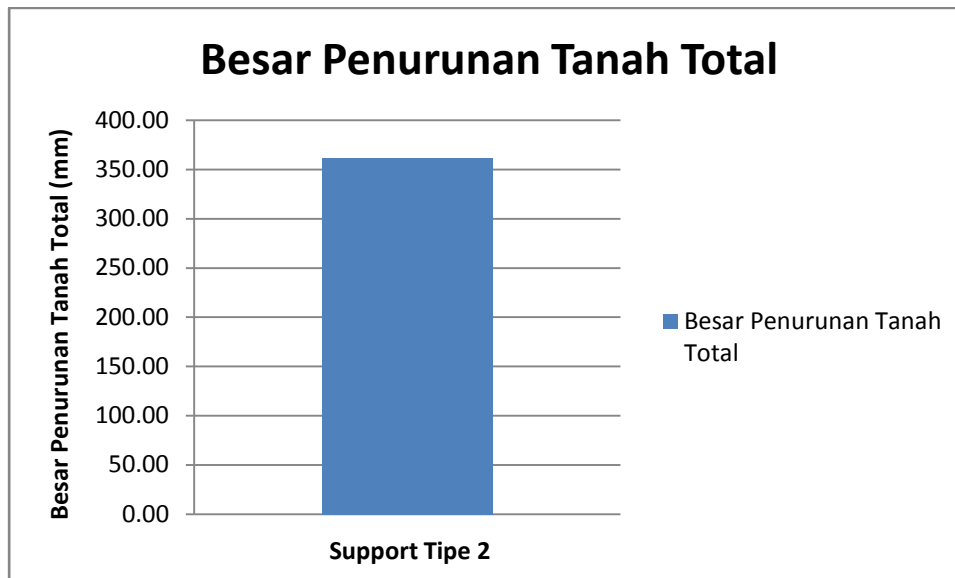
4.4.4 Penurunan Tanah pada Support 2 Tipe A

Penurunan tanah yang terjadi pada support concrete mattress tipe 2 dapat dilihat pada **Gambar 4.14**. Pada **Gambar 4.14** di bawah ini menunjukkan penurunan tanah tiap kedalaman lapisan (*layer*). Pada lapisan tanah yang pertama penurunan sangat besar diakibatkan karena lapisan tersebut menerima beban secara langsung dari pondasi. Kemudian penurunan berangsur-angsur menurun karena terjadi pengurangan tekanan rata-rata akibat pengaruh ketebalan lapisan tanah. Penurunan tersebut berhenti hingga pada kedalaman 10 meter karena setelah pada kedalaman tersebut terdapat tanah keras atau bebatuan sehingga tidak terjadi penurunan tanah.



Gambar 4.14 Grafik Penurunan Tanah Tiap Layer Support 2 *Concrete Mattress* Tipe A

Total penurunan tanah yang terjadi pada kondisi operasi dapat dilihat pada **Gambar 4.15** di bawah ini.

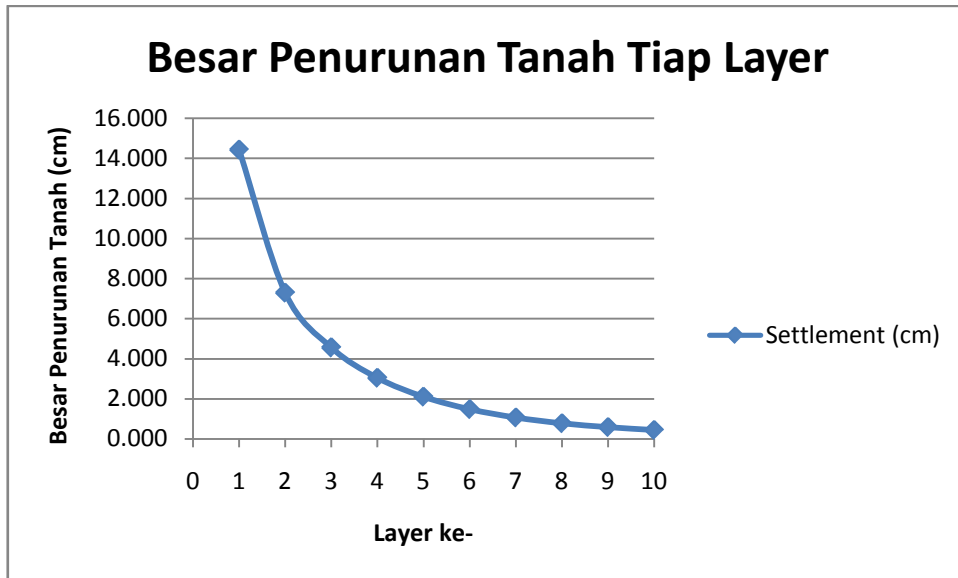


Gambar 4.15 Grafik Penurunan Tanah Total pada Support 2 *Concrete Mattress* Tipe A

Dari **Gambar 4.15** di atas dapat diketahui bahwa besar penurunan tanah yang terjadi adalah 361,81 mm. Dari **Gambar 4.15** di atas juga dapat diketahui bahwa penurunan rata-rata untuk support tipe A adalah 27,8 mm tiap tahunnya berdasarkan dari total penurunan selama masa operasi 13 tahun. Dengan jarak aman antar pipa (*clearance*) adalah sekitar 0,65 meter, maka jarak tersebut akan terlampaui pada tahun ke-12 masa operasi.

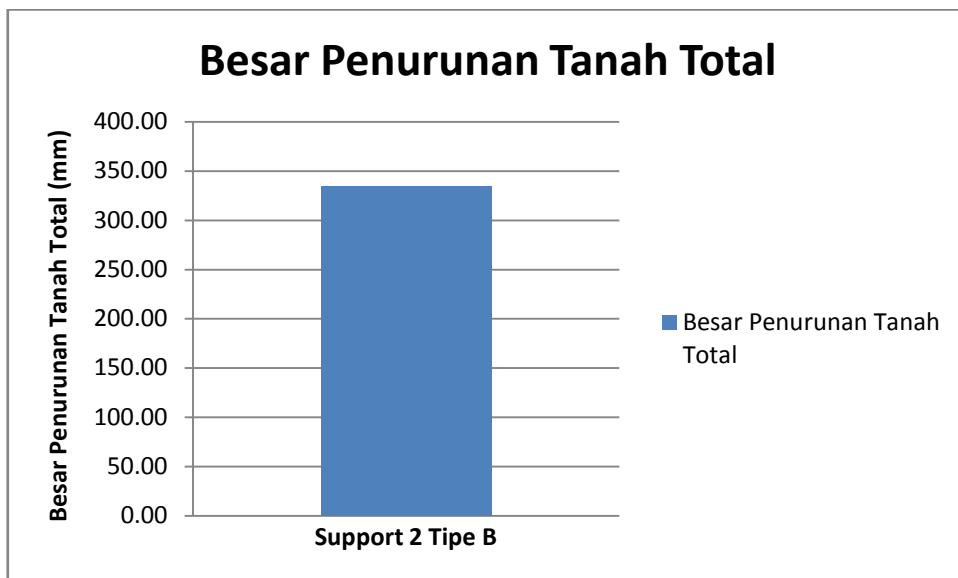
4.4.5 Penurunan Tanah pada Support 2 Tipe B

Penurunan tanah yang terjadi pada support concrete mattress tipe 2 dapat dilihat pada **Gambar 4.16**. Pada **Gambar 4.16** di bawah ini menunjukkan penurunan tanah tiap kedalaman lapisan (*layer*). Pada lapisan tanah yang pertama penurunan sangat besar diakibatkan karena lapisan tersebut menerima beban secara langsung dari pondasi. Kemudian penurunan berangsur-angsur menurun karena terjadi pengurangan tekanan rata-rata akibat pengaruh ketebalan lapisan tanah. Penurunan tersebut berhenti hingga pada kedalaman 10 meter karena setelah pada kedalaman tersebut terdapat tanah keras atau bebatuan sehingga tidak terjadi penurunan tanah.



Gambar 4.16 Grafik Penurunan Tanah Tiap Layer Support 2 *Concrete Mattress* Tipe B

Total penurunan tanah yang terjadi pada kondisi operasi dapat dilihat pada **Gambar 4.17** di bawah ini.



Gambar 4.17 Grafik Penurunan Tanah Total pada Support 2 *Concrete Mattress* Tipe B

Dari **Gambar 4.17** di atas dapat diketahui bahwa besar penurunan tanah yang terjadi adalah 334,47 mm. Dari **Gambar 4.17** di atas juga dapat diketahui bahwa penurunan rata-rata untuk support tipe B adalah 25,72 mm tiap tahunnya

berdasarkan dari total penurunan selama masa operasi 13 tahun. Dengan jarak aman antar pipa (*clearance*) adalah sekitar 0,65 meter, maka jarak tersebut akan aman digunakan selama masa operasi.

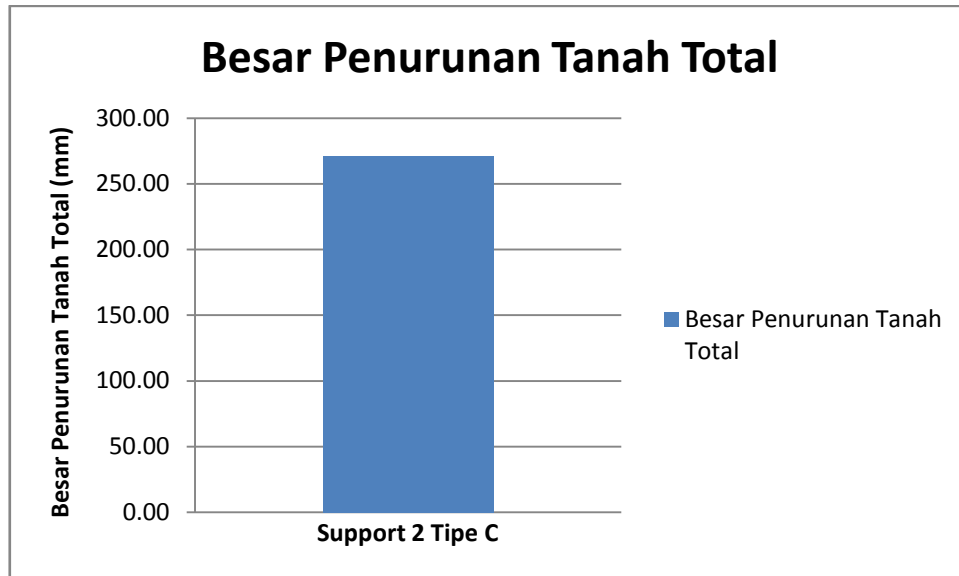
4.4.6 Penurunan Tanah pada Support 2 Tipe C

Penurunan tanah yang terjadi pada support *concrete mattress* tipe 2 dapat dilihat pada **Gambar 4.18**. Pada **Gambar 4.18** di bawah ini menunjukkan penurunan tanah tiap kedalaman lapisan (*layer*). Pada lapisan tanah yang pertama penurunan sangat besar diakibatkan karena lapisan tersebut menerima beban secara langsung dari pondasi. Kemudian penurunan berangsur-angsur menurun karena terjadi pengurangan tekanan rata-rata akibat pengaruh ketebalan lapisan tanah. Penurunan tersebut berhenti hingga pada kedalaman 10 meter karena setelah pada kedalaman tersebut terdapat tanah keras atau bebatuan sehingga tidak terjadi penurunan tanah.



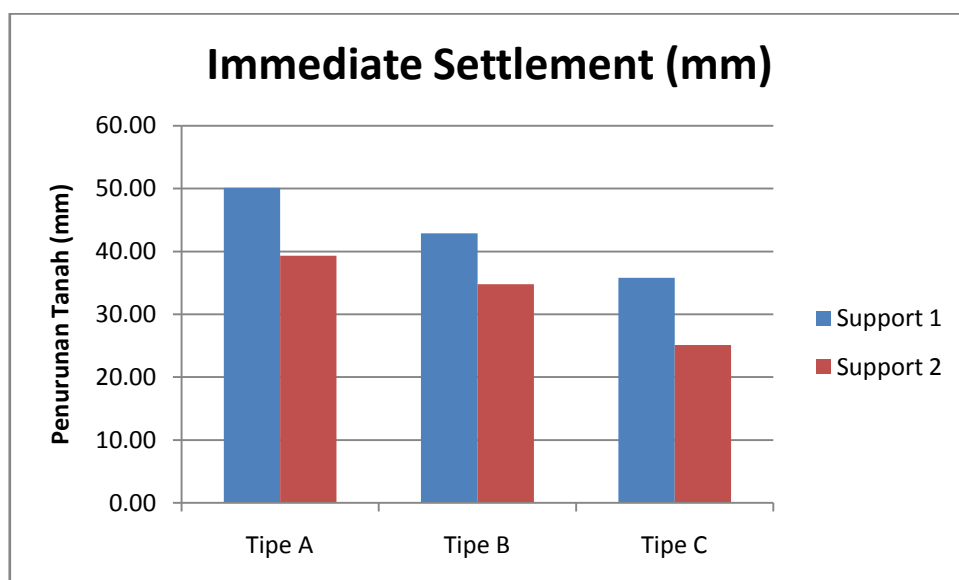
Gambar 4.18 Grafik Penurunan Tanah Tiap Layer Support 2 *Concrete Mattress* Tipe C

Total penurunan tanah yang terjadi pada kondisi operasi dapat dilihat pada **Gambar 4.19** di bawah ini.

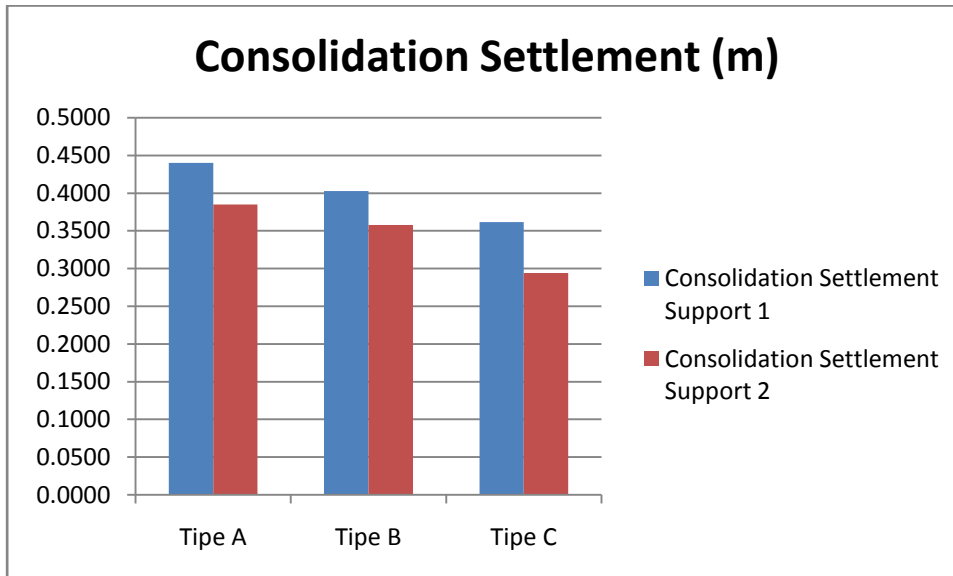


Gambar 4.19 Grafik Penurunan Tanah Total pada Support 2 *Concrete Mattress* Tipe C

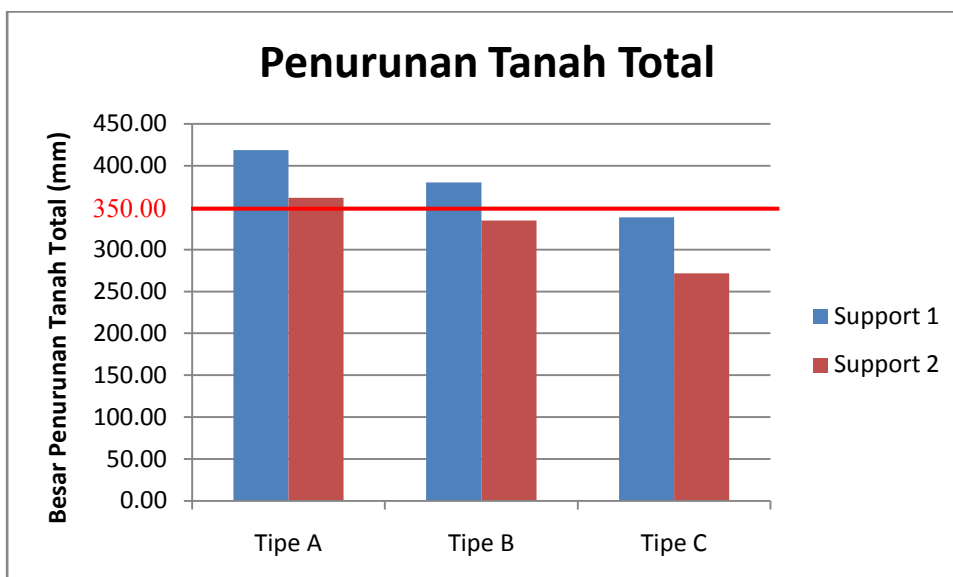
Dari **Gambar 4.19** di atas dapat diketahui bahwa besar penurunan tanah yang terjadi adalah 271,49 mm. Dari **Gambar 4.19** di atas juga dapat diketahui bahwa penurunan rata-rata untuk support tipe C adalah 20,8 mm tiap tahunnya berdasarkan dari total penurunan selama masa operasi 13 tahun. Dengan jarak aman antar pipa (*clearance*) adalah sekitar 0,65 meter, maka jarak tersebut akan aman digunakan selama masa operasi.



Gambar 4.20 Grafik Perbandingan *Immediate Settlement*



Gambar 4.21 Grafik Perbandingan *Consolidation Settlement*



Gambar 4.22 Grafik Penurunan Tanah Total pada Kedua Jenis Support

Tabel 4.19 Hasil Analisis Overturning, Sliding, Bearing Capacity

		Overturning Moment	Sliding	Bearing Pressure
		Check Safety Factor $\geq 1,5$		
Support 1	Tipe A	5.16	2.83	6.39
	Tipe B	4.07	2.35	6.59
	Tipe C	3.07	1.87	6.65
Support 2	Tipe A	4.26	2.43	5.44
	Tipe B	3.23	1.94	5.65
	Tipe C	2.34	1.47	5.76

Tabel 4.20 Penurunan Tanah Total (mm) Tiap Support

	Support 1	Support 2
Tipe A	418.61	361.81
Tipe B	380.25	334.47
Tipe C	338.48	271.49

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Melalui proses analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Dari hasil analisa stabilitas *support* yang dilakukan diketahui bahwa kedua jenis *support* stabil secara vertikal dan lateral. Dan untuk *check* stabilitas *support* baik analisa terhadap moment *overturning*, *sliding*, dan *bearing pressure* memenuhi sesuai dengan kriteria yang ditetapkan, yakni *safety factor* harus lebih besar dari 1,5.
2. Pada data diketahui jarak *clearance* antar pipa adalah 0,65 m. Jarak aman *clearance* yang diizinkan pada aturan DNV adalah 0,3 m. Penurunan tanah maksimum yang diizinkan 0,35 m. *Support* 1 Tipe A = 418,61 mm, *Support* 1 Tipe B = 380,25 mm, *Support* 1 Tipe C = 338,48 mm, *Support* 2 Tipe A = 361,81 mm, *Support* 2 Tipe B = 337,47 mm, *Support* 2 Tipe C = 271,49 mm. Dari semua jenis *support* tersebut yang memenuhi adalah *support* 1 Tipe C dan *Support* 2 Tipe B.

5.2 Saran

1. Bentangan pipa (*span*) yang terjadi diantara 2 *support* pipa memiliki panjang 13,5 meter. Dengan adanya pengaruh gaya hidrodinamis maka pengaruh *vortex shedding* terhadap pipa perlu dianalisa.
2. Perlu adanya analisis terhadap tegangan yang terjadi pada pipa akibat penurunan tanah.
3. Perlu adanya perhitungan biaya pada instalasi *support* pipeline serta detail integrasi pemasangan *support* pipeline yang aman.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Airlangga, A. Z. 2010. **Analisis Statik dan Dinamik Pipa Bawah Laut yang Mengalami *Freespanning* dengan Studi Kasus Pipa 14 Inchi di Area Hangtuah**. Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara,-ITB. Bandung
- Arifianti, Ratih Putri. 2011. **Analisa Stabilitas *Subsea Crossing Gas Pipeline* dengan Support Pipa Berupa *Concrete Mattress* dan *Sleeper* (Studi Kasus *Crossing Pipa South Sumatera West Java (SSWJ)* Milik PT.Perusahaan Gas Negara (Persero) Tbk. Dan PT. British Petroleum)**. Jurusan Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Bai, Yong. 2001. ***Pipeline and Risers***. Elsevier. USA.
- Charkrabarti, S.K. 1987. ***Hydrodynamics of Offshore Structure***. Computational Mechanics Publication. Southampton.
- Das, Braja.M. 1985. ***Principles of Geotechnical Engineering***. PWS Publisher. Inggris.
- Det Norske Veritas. 1988. DNV RP-305, ***On Bottom Stability Design of Submarine Pipelines***. Norway.
- Det Norske Veritas. 2000. DNV OS-F101, ***Submarine Pipeline Systems***. Norway.
- Det Norske Veritas. 2003. DNV OS-F105, ***Free Spanning Pipelines***. Norway.
- Det Norske Veritas. 2003. DNV RP-C205, ***Enivironmental Conditions and Enivironmental Loads***. Norway.
- Det Norske Veritas. 2007. DNV OS-F109, ***On-Bottom Stability Desain of Submarine Pipelines***. Norway.
- Guaratne, Manjriker. 2006. ***The Foundation Engineering Handbook***. Taylor & Francis Group. USA.
- Indiyono, Paul. 2004. **Hidrodinamika Bangunan Lepas Pantai**. SIC. Surabaya.
- John N. Cernica. ***Geotechnical Engineering-Foundation Design***, John Wiley & Sons, Inc. 1995.
- Liu, H. 2003. ***Pipeline Engineering***. Lewis Publisher.
- Mousselli, A.H. 1981. ***Offshore Pipeline Design, Analysis and Method***. Pennwell. Oklahoma.

- Munari, M., dkk. 2007. ***On Bottom Stability Analysis of Partially Burried Pipeline at Near Shore South Sumatera-West Java Pipeline***. Journal of the Indonesian Oil and Gas Community.
- Musya, Novella. 2013. ***Analisa Stabilitas Crossing Pipeline antara Trunk Line Petronas dengan Existing Line Kodeco Energy***. Jurusan Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Naditya, Wiraksini. 2014. ***Analisa On-Bottom Stability Ofshore Pipeline : Studi Kasus Platform Kb-KCOM Milik PT. Pertamina Hulu Energy North West Java***. Jurusan Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Raha, G. A. 2008. ***Desain Ketebalan dan Analisis Kestabilan Pipa Bawah Laut***. FTSP-ITB: Bandung.
- Rizki, Rahmat. 2011. ***Analisa Stabilitas Pipa Bawah Laut dengan Metode DNV RP F109 : Studi Kasus Proyek Instalasi Pipeline dari Platform EZA Menuju Platform URA Sepanjang 7.706 Km Di Laut Jawa***. Jurusan Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Sianturi, F. C. 2008. ***Desain dan Analisa Instalasi Struktur Pipa Bawah Laut***. FTSP-ITB: Bandung.
- Soegiono. 2007. ***Pipa Laut***. Airlangga University Press. Surabaya.
- Surat Keputusan Mentamben No. 300.k/38/M.pel/1997
- Triatmodjo, Bambang. 1999. ***Teknik Pantai***. Yogyakarta.

LAMPIRAN A

Perhitungan Berat Terendam Pipa

Input Data

Phase : Operasi
Wave/Current Data : 100 year Period

Data Pipa

Pipe Outer Diameter	OD	: 323.85	mm
Pipe Wall Thickness	t_{st}	: 12.7	mm
Concrete Coating Thickness	t_c	: 38	mm
Concrete Density	ρ_c	: 3044	kg.m^{-3}
Corrosion Coating Thickness	t_{corr}	: 4	mm
Corrosion Coating Density	ρ_{corr}	: 1281.5	kg.m^{-3}
Corrosion Allowance	$corr_{all}$: 3	mm
Steel Density	ρ_{st}	: 7850	kg.m^{-3}
Pipe Content Density	ρ_{cont}	: 38,5	kg.m^{-3}

Parameter Lingkungan

Densitas Air Laut	ρ_w	: 1025	kg.m^{-3}
Viskositas Kinematik	ν	: 0.0000113	m^2/s
Kedalaman Perairan	D	: 30	m
Significant Wave Height	H_s	: 3.6	m
Significant Wave Period	T_s	: 8.3	s
Peak Period	T_p	: 9	s
Current Velocity 10 % above seabed	U_r	: 0.93	m/s
Height 10 % above seabed	Z_r	: 3	m
Angle between wave direction with pipeline direction	θ_{wave}	: 90°	
Angle between current direction with pipeline direction	θ_{curr}	: 90°	
Percepatan gravitasi	g	: 9.81	m/s^2

Soil Parameter

Soil Type	: Very Soft Clay
Angle Friction	: 0°
Submerged Weight	: 815.7 kg.m^3
Coefficient Friction	: 0.7
Grain Size d_{50}	: 0.0625 mm
Roughness Z_0	: 5×10^{-6} m

PERHITUNGAN SUBMERGED WEIGHT PIPA

Parameter Pipeline

Diameter Luar Pipa (D)

$$\begin{aligned} D &= D_o + 2.t_{\text{corr}} + 2.t_c \\ &= 323.85 + 2(4) + 2(38) \\ &= 407.85 \text{ mm} \\ &= 0.40785 \text{ m} \end{aligned}$$

Diameter Dalam Pipa (D_i)

$$\begin{aligned} D_i &= D_o - 2.t_{\text{st}} \\ &= 323.85 - 2(12.7) \\ &= 298.45 \text{ mm} \\ &= 0.29845 \text{ m} \end{aligned}$$

Berat Baja di Udara (W_{st})

$$\begin{aligned} W_{\text{st}} &= \pi/4 \rho_{\text{st}} (D_o^2 - D_i^2) g \\ &= 3.14/4 \times 7850 (0.32385^2 - 0.29845^2) 9.81 \\ &= 955.525 \text{ N/m} \end{aligned}$$

Berat Lapisan Anti Karat di Udara (W_{corr})

$$\begin{aligned} W_{\text{corr}} &= \pi/4 \rho_{\text{corr}} [(D_o + 2.t_{\text{corr}})^2 - D_i^2] g \\ &= 3.14/4 \times 1281.5 [(0.32385 + 2(0.004))^2 - 0.29845^2] 9.81 \\ &= 207.755 \text{ N/m} \end{aligned}$$

Berat Selimut Beton di Udara (W_c)

$$\begin{aligned} W_c &= \pi/4 \rho_c [(D_o + 2.t_{\text{corr}} + 2.t_c)^2 - (D_o + 2.t_{\text{corr}})^2] g \\ &= 3.14/4 \times 3044 [(0.32385 + 2(0.004) + 2(0.038))^2 - (0.32385 + 2(0.004))^2] 9.81 \\ &= 1317.81 \text{ N/m} \end{aligned}$$

Berat Pengisi Pipa (W_{cont})

$$\begin{aligned} W_{\text{cont}} &= D_i^2 \cdot \rho_{\text{cont}} \cdot g \\ &= 0.29845^2 \times 38.5 \times 9.81 \\ &= 33.64 \text{ N/m} \end{aligned}$$

Bouyancy (B)

$$\begin{aligned} B &= \pi/4 \rho_w (D_o + 2.t_{\text{corr}} + 2.t_c)^2 \cdot g \\ &= 3.14/4 \times 1025 (0.32385 + 2(0.004) + 2(0.038))^2 9.81 \\ &= 1313 \text{ N/m} \end{aligned}$$

Berat Terendam Pipa (W_s)

$$\begin{aligned} W_s &= W_{\text{st}} + W_{\text{corr}} + W_c + W_{\text{cont}} - B \\ &= 955.525 + 207.755 + 1317.81 + 33.64 - 1313 \\ &= 1201.73 \text{ N/m} \end{aligned}$$

Setelah didapatkan submerged weight dari pipa maka dilakukan pengecekan apakah pipa tersebut stabil secara vertikal atau tidak. Menurut DNV RP E305 pipa dapat dikatakan stabil secara vertikal apabila memenuhi persamaan berikut.

$$SF_V = \frac{W_S + B}{B} \geq 1,1$$

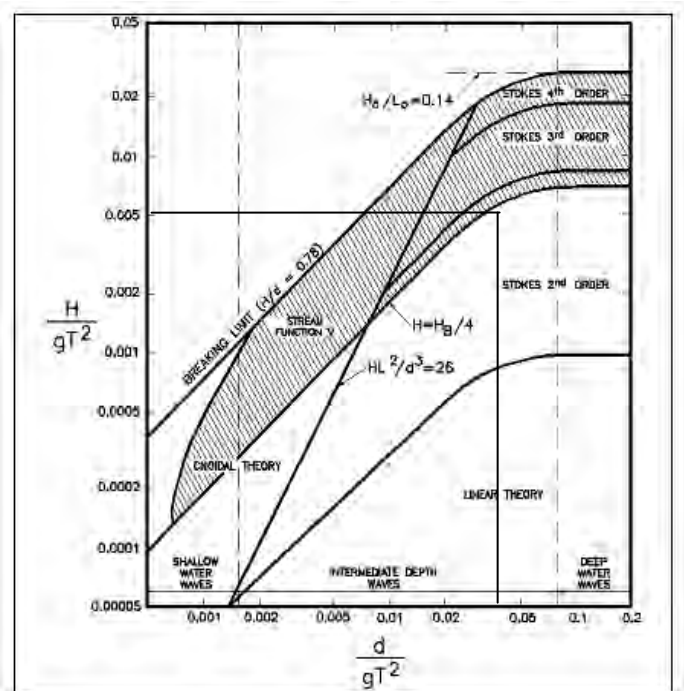
$$\frac{1201.73 + 1313}{1313} \geq 1,1$$

$$1,915 \geq 1,1 \quad \text{OK}$$

Lampiran Perhitungan Gaya-gaya Hidrodinamis pada Pipa

Perhitungan untuk mencari *submerged weight pipe* menggunakan *simplified method* sesuai dengan *rules DNV RP E305*. Berikut beberapa rumus yang digunakan dalam perhitungan menghitung kecepatan transformasi gelombang, kecepatan aliran tegak lurus pipa, serta kecepatan arus berdasar ketinggian.

Penentuan Teori Gelombang



$$\frac{H}{gT^2} = 0,0053$$

$$\frac{d}{gT^2} = 0,0443$$

Berdasarkan grafik diatas, maka menggunakan Teori Gelombang Stokes Orde Dua

$$H = 3,6 \text{ m}$$

$$T = 8,3 \text{ s}$$

$$L = 102,2 \text{ m}$$

$$k = 0,0614$$

$$s = 1,3619$$

Dimana

$$k = \text{angka gelombang, } k = \frac{2\pi}{L}$$

y = koordinat gelombang di atas SWL, $y = \frac{H}{2}$

s = koordinat gelombang di atas seabed, $s = d + y$

Kecepatan horizontal partikel

$$U = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh ks}{\sinh kd} \cos \theta + \frac{3}{4} \left(\frac{\pi H}{L} \right) \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh 2ks}{\sinh^4 kd} \cos 2\theta$$

$$U = 0,0012 \text{ m/s}$$

Kecepatan partikel gelombang efektif (U_w)

$$U_w = 0,778 \cdot U_o^2 \left(\frac{D}{y_o} \right)^{0,286}$$

$$U_w = 1,12 \times 10^{-7}$$

Kecepatan partikel arus efektif (U_c)

$$U_c = \sqrt{0,778 \cdot U_o^2 \left(\frac{D}{y_o} \right)^{0,286}}$$

$$U_c = 0,4979 \text{ m/s}$$

Menghitung kecepatan efektif yang mengenai pipa

$$U_e = U_w + U_c = \sqrt{U_w^2 + U_c^2 + 2 \cdot U_w \cdot U_c \cdot \cos \theta}$$

$$U_e = 0,4979 \text{ m/s}$$

Menghitung F_D , F_I , dan F_L

$$R_e = \frac{U_e D}{\nu}$$

$$R_e = 14271,17$$

$$C_D = 1,3$$

$$C_L = 1,5$$

$$C_M = 2$$

Drag Force

$$F_D = \frac{1}{2} \rho C_D D U_e^2$$

$$F_D = 53,5019 \text{ N/m}$$

Inertia Force

$$F_I = \frac{1}{2} \rho C_M \left(\pi \frac{D^2}{4} \right) U_e^2$$

$$F_I = 40,3703 \text{ N/m}$$

Lift Force

$$F_L = \frac{1}{2} \rho C_L D U_e^2$$

$$F_L = 61,7330 \text{ N/m}$$

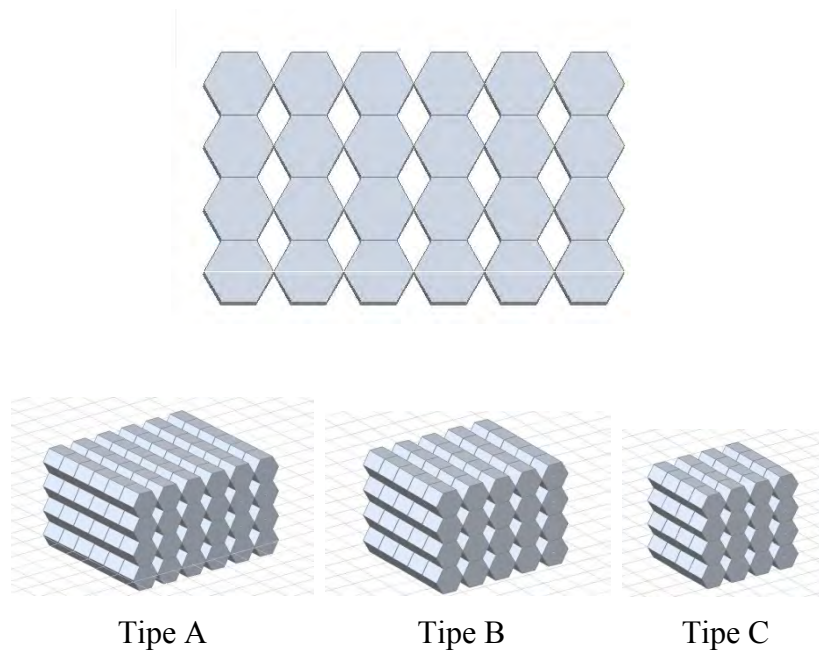
Calculated Data	Simbol	Ketinggian dari Seabed		Satuan
		Pipa 0 m	Pipa 1,2 m	
Drag Force	F _D	83,316	53,501	N/m
Inertia Force	F _I	468,751	470,370	N/m
Lift Force	F _L	96,134	61,733	N/m

LAMPIRAN B

Lampiran Perhitungan Stabilitas Vertikal Support

Untuk perhitungan stabilitas vertikal support terlebih dahulu memperhitungkan volume support tersebut, kemudian berat dari support, submerged weight dari support, *effective support contact area* dan buoyancy support, berikut perhitungannya.

➤ Support Concrete Mattress 1

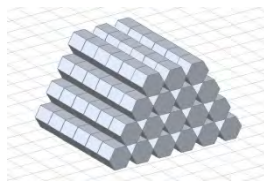
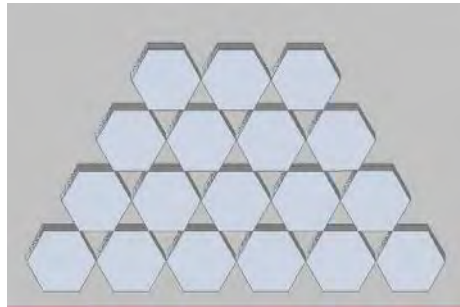


Gambar 4.1 Support Pipeline Tipe Concrete Mattress Tipe 1

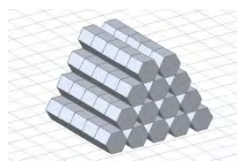
Tabel 4.8 Detail Dimensi Support Tipe 1

		Type A	Type B	Type C
Length (L)	m	3	2,5	2
Bottom Width (B)	m	3	2,5	2
Height of individual Mattress	m	0,3	0,3	0,3
No. of Mattress	-	4	4	4
Total Height (H)	m	1,2	1,2	1,2
Volume of each Mattress	m ³	1,2	1,2	1,2
Volume Concrete Mattress	m ³	4,8	3,33	2,13

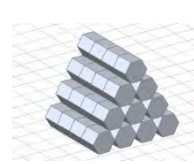
➤ Support Concrete Mattress 2



Type A



Type B



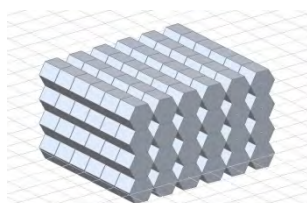
Type C

Gambar 4.2 Support Pipeline Tipe Concrete Mattress Tipe 2

Tabel 4.9 Detail Dimensi Support Tipe 2

		Type A	Type B	Type C
Length (L)	m	3	2,5	2
Bottom Width (B)	m	3	2,5	2
Height of individual Mattress	m	0,3	0,3	0,3
No. of Mattress	-	4	4	4
Total Height (H)	m	1,2	1,2	1,2
Volume of each Mattress	m ³	1,2	1,2	1,2
Volume Concrete Mattress	m ³	3,6	2,33	1,33

➤ Support 1 Tipe A



Berat Concrete Mattress

$$W_m = V_g \times \rho_{cd} \times g$$

$$W_m = 90879.840 \text{ N}$$

Submerged Weight of Support

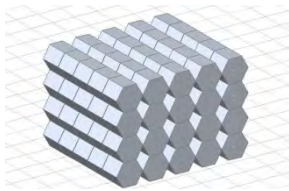
$$W_{sg} = W_m - V_g \times \rho_w$$

$$W_{sg} = 85959.840 \text{ N}$$

Bouyancy

$$B = V_g \times \rho_w \times g$$

$$B = 48265.2 \text{ N}$$

➤ Support 1 Tipe B**Berat Concrete Mattress**

$$W_m = V_g \times \rho_{cd} \times g$$

$$W_m = 63111.000 \text{ N}$$

Submerged Weight of Support

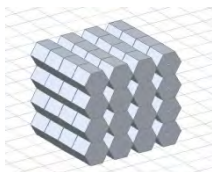
$$W_{sg} = W_m - V_g \times \rho_w$$

$$W_{sg} = 59694.333 \text{ N}$$

Bouyancy

$$B = V_g \times \rho_w \times g$$

$$B = 33517.5 \text{ N}$$

➤ Support 1 Tipe C**Berat Concrete Mattress**

$$W_m = V_g \times \rho_{cd} \times g$$

$$W_m = 40391.040 \text{ N}$$

Submerged Weight of Support

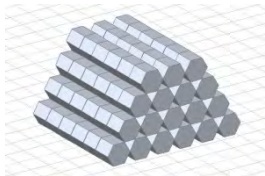
$$W_{sg} = W_m - V_g \times \rho_w$$

$$W_{sg} = 38204.373 \text{ N}$$

Bouyancy

$$B = Vg \times \rho_w \times g$$

$$B = 21451.2 \text{ N}$$

➤ **Support 2 Tipe A****Berat Concrete Mattress**

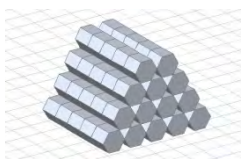
$$\begin{aligned} W_m &= Vg \times \rho_{cd} \times g \\ &= 3,6 \times 1039 \times 9,81 \\ &= 68159,880 \text{ N} \end{aligned}$$

Submerged Weight of Support

$$\begin{aligned} W_{sg} &= W_m - Vg \times \rho_w \\ &= 68159,880 - 3,6 \times 1025 \\ &= 64469,880 \text{ N} \end{aligned}$$

Bouyancy

$$\begin{aligned} B &= Vg \times \rho_w \times g \\ &= 3,6 \times 1025 \times 9,81 \\ &= 36198,9 \text{ N} \end{aligned}$$

➤ **Support 2 Tipe B****Berat Concrete Mattress**

$$\begin{aligned} W_m &= Vg \times \rho_{cd} \times g \\ W_m &= 44177.700 \text{ N} \end{aligned}$$

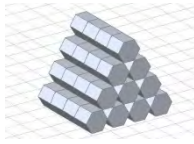
Submerged Weight of Support

$$\begin{aligned} W_{sg} &= W_m - Vg \times \rho_w \\ W_{sg} &= 41786.033 \text{ N} \end{aligned}$$

Bouyancy

$$\begin{aligned} B &= Vg \times \rho_w \times g \\ B &= 23462.25 \text{ N} \end{aligned}$$

➤ **Support 2 Tipe C**



Berat Concrete Mattress

$$W_m = V_g \times \rho_{cd} \times g$$

$$W_m = 25244.400 \text{ N}$$

Submerged Weight of Support

$$W_{sg} = W_m - V_g \times \rho_w \times g$$

$$W_{sg} = 23877.733 \text{ N}$$

Bouyancy

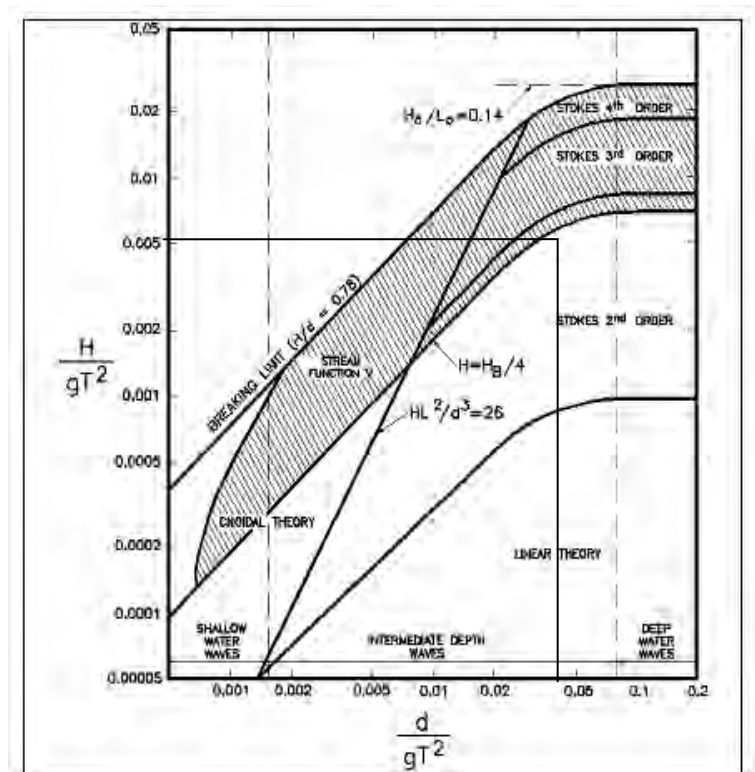
$$B = V_g \times \rho_w \times g$$

$$B = 13407 \text{ N}$$

Tipe Support 1	Analisa Stabilitas Vertikal		
	Ws	B	Check
	N	N	SF > 1,1
A	85959,84	48265,20	2,78
B	59694,33	33517,50	2,78
C	38204,37	21451,20	2,78
Tipe Support 2	Analisa Stabilitas Vertikal		
	Ws	B	Check
	N	N	SF > 1,1
A	64469,88	36198,90	2,78
B	41786,03	23462,25	2,78
C	23877,73	13407,00	2,78

Lampiran Perhitungan Stabilitas Lateral Support

Penentuan Teori Gelombang



$$\frac{H}{gT^2} = 0,0053$$

$$\frac{d}{gT^2} = 0,0443$$

Berdasarkan grafik diatas, maka menggunakan Teori Gelombang Stokes Orde Dua

$$H = 3,6 \text{ m}$$

$$T = 8,3 \text{ s}$$

$$L = 102,2 \text{ m}$$

$$k = 0,0614$$

$$s = 0,6$$

Dimana :

$$k = \text{angka gelombang, } k = \frac{2\pi}{L}$$

$$y = \text{koordinat gelombang di atas SWL, } y = \frac{H}{2}$$

$$s = \text{koordinat gelombang di atas seabed, } s = d + y$$

Kecepatan horizontal partikel

$$U = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh ks}{\sinh kd} \cos \theta + \frac{3}{4} \left(\frac{\pi H}{L} \right) \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh 2ks}{\sinh^4 kd} \cos 2\theta$$

$$U = 0,0012 \text{ m/s}$$

Kecepatan partikel gelombang efektif (U_w)

$$U_w = 0,778 \cdot U_o^2 \left(\frac{D}{y_o} \right)^{0,286}$$

$$U_w = 1,007 \times 10^{-7}$$

Kecepatan partikel arus efektif (U_c)

$$U_c = \sqrt{0,778 \cdot U_o^2 \left(\frac{D}{y_o} \right)^{0,286}}$$

$$U_c = 0,7021 \text{ m/s}$$

Menghitung kecepatan efektif yang mengenai support

$$U_e = U_w + U_c = \sqrt{U_w^2 + U_c^2 + 2 \cdot U_w \cdot U_c \cdot \cos \theta}$$

$$U_e = 0,7021 \text{ m/s}$$

Menghitung F_D , F_I , dan F_L

$$R_e = \frac{U_e D}{\nu}$$

$$R_e = 74565,07$$

$$C_D = 1,6$$

$$C_L = 1,1$$

$$C_M = 2$$

Drag Force

$$F_D = \frac{1}{2} \rho C_D D U_e^2$$

$$F_D = 370,896 \text{ N/m}$$

Inertia Force

$$F_I = \frac{1}{2} \rho C_M \left(\pi \frac{D^2}{4}\right) U_e^2$$

$$F_I = 3371,90 \text{ N/m}$$

Lift Force

$$F_L = \frac{1}{2} \rho C_L D U_e^2$$

$$F_L = 303,207 \text{ N/m}$$

Lateral Stability (Check)

$$SF_L = \frac{(W_S - F_L) \cdot \mu}{F_D + F_I} \geq 1,1$$

Jenis Support	Tipe Support	Gaya Hidrodinamis			Check	Keterangan
		F _D	F _I	F _L	SF _L ≥ 1,1	
Support 1	Tipe A	370,89	3371,90	303,21	4,5771	OK
	Tipe B	257,56	2341,60	303,21	4,5700	OK
	Tipe C	164,84	1498,62	303,21	4,5568	OK

Jenis Support	Tipe Support	Gaya Hidrodinamis			Check	Keterangan
		F _D	F _I	F _L	SF _L ≥ 1,1	
Support 2	Tipe A	370,89	2528,93	303,21	4,4255	OK
	Tipe B	257,56	1639,12	303,21	4,3742	OK
	Tipe C	164,84	936,64	303,21	4,2805	OK

LAMPIRAN C

OVERTURNING MOMENT, SLIDING, BEARING PRESSURE

Data Tanah dan Data Support 1 Tipe A

data	simbol	nilai	satuan	keterangan
dimensi support 1				
Lebar	B	3	m	
Panjang	L	3	m	
Tinggi	H	1.2	m	
Type of soil	Clay			
Friction Angle	ϕ	0		
Soil layer depth	do	0.1	m	from soil data
Cohesion	C	7	kPa	from soil data
bearing capacity factor	Nc	5.14		Mayerhof's
	Nq	1		
	N γ	0		
	Kp	2.6236		$\tan^2(45+\phi/2)$
shape factor	Sc	1.5247		$1+((0,2Kp) \times B/L)$
	Sq	1		Mayerhof's
	S γ	1		
depth factor	dc	1.1079		$1 + 0.2\sqrt{K_P} \frac{D}{B}$
	dq	1		Mayerhof's
	d γ	1		
average soil bulk density				
average soil submerged weight	y _{sub}	815.7	kg/m ³	from soil data

Support 1 Tipe A

Calculation	Sym	Operation	Satuan	Equation
Maximum design span	Lspan	13.5	m	Data
Pipe peak horizontal load	FY*	523.872	N	Lateral Stability
Pipe horizontal force	F _{H1}	7072.275	N	FY* Lspan
Support peak horizontal load	FYs	3742.804	N	Lateral Stability
Support horizontal force	F _{H2}	3742.804	N	
Total horizontal Load	F _H	10815.080	N	F _{H1} + F _{H2}
Submerged weight of pipe	Ws	1201.734	N/m	Vertical Stability
Pipe vertical load	P ₁	16223.404	N	Ws x Lspan
Submerged weight of support	Wsg	85959.84	N	Vertical Stability
Support vertical load	P ₂	85959.84	N	
Total vertical load	P	859489.43	N	P ₁ + P ₂
Volume of liquid displaced	V _g	4.8	m ³	Volume Support
Exposed area of support	E _s	9	m ²	Support Length x Width
Ketinggian gaya yang mengenai pipa	t ₁	1.362	m	t support + 1/2 D
Ketinggian gaya yang mengenai support	t ₂	0.6	m	1/2 t support

Depth of Footing Calculation

Calculation	Symbol	Condition Operation	Unit	Equation
Safety factor	SF	3		Principle of Geotechnical Engineering
Allowable bearing pressure	q _{all}	111995,48	N/m ²	P/Ac + M/Z
Ultimate Bearing capacity	q _u	335986,44	N/m ²	$CN_c S_c d_c + q_0 N_q S_q d_q + 0.5 B \gamma_{sub} N_y s_y d_y$
		335,99	kN/m ²	3q _{all}
overburden pressure	q _o	335925,66	N/m ²	$= \frac{3q_{max} - (CN_c S_c d_c + 0.5 B \gamma_{sub} N_y s_y d_y)}{N_q S_q d_q}$
depth of footing	D _f	14,02	m	$\frac{q_{all}}{\gamma_s \times 1000}$

OVERTURNING CHECK

Overturning Moment

$$M_{op} = (F_{H1} \times t1) + (F_{H2} \times t2) = 11877,59 \text{ N/m}$$

Resisting Moment

$$M_{rop} = P \times 0,5 \times s = 61309,94$$

Safety Factor

$$SF = M_{rop} / M_{op}$$

$$SF = 5,1618$$

$$\text{Check} = SF > 1,5$$

$$5,1618 > 1,5 \text{ OK}$$

SLIDING CHECK

$$\text{Friction Coefficient } (\mu) = 0,3$$

$$SF_{\text{sliding}} = (P \times \mu) / F_H = 2,8345$$

$$\text{Check} = SF > 1,5$$

$$2,8345 > 1,5 \text{ OK}$$

Check :

SF > 1.5 → OK (safe against sliding)

SF < 1.5 → Not OK (not safe against sliding)

BEARING CAPACITY

$$Z_b = \frac{s \times s^2}{6} = 0,288 \text{ m}^3$$

Bearing Capacity Factor	Nc	5.14
Bearing Capacity Factor	Nγ	0
Depth Of Foundation	Df	0.1
Correction Factor	Kc	1
Undrained Shear Strength	c	5

Ultimate Bearing Capacity

$$Q_{ult} = C N_c S_c d_c + q_0 N_q S_q d_q + 0,5 B \gamma_{sub} N_\gamma S_\gamma d_\gamma$$

$$Q_{ult} = 335,99 \text{ kN/m}^2$$

Taking Moment About the Base (Mb)

$$M_b = (F_{H1} \times t_1) + (F_{H2} \times t_2)$$

$$M_b = 11877,5 \text{ N/m} = 11,87759 \text{ kN/m}$$

$$\text{Total Vertical Load (P)} = 102183,2 \text{ N} = 102,1832 \text{ kN}$$

$$\text{Expose area of support (Es)} = 9 \text{ m}^2$$

Bearing Pressure at Base of Support

$$P_{\text{base}} = (P / Es) + (Mb / Zb) = 52,59533 \text{ kPa}$$

Safety Factor

$$SF = Q_{\text{ult}} / P_{\text{base}}$$

$$SF = 6,3881$$

$$SF > 1,5 \quad \text{OK}$$

$$6,3881 > 1,5 \quad \text{OK}$$

Data Tanah dan Data Support 1 Tipe B

data	simbol	nilai	satuan	keterangan
dimensi support 1				
Lebar	B	2.5	m	
Panjang	L	2.5	m	
Tinggi	H	1.2	m	
Type of soil	Clay			
Friction Angle	ϕ	0		
Soil layer depth	do	0.1	m	from soil data
Cohesion	C	7	kPa	from soil data
bearing capacity factor	Nc	5.14		Mayerhof's
	Nq	1		
	N _γ	0		
	Kp	2.6236		$\tan^2(45+\phi/2)$
shape factor	Sc	1.5247		$1+((0,2Kp) \times B/L)$
	Sq	1		Mayerhof's
	S _γ	1		
depth factor	dc	1.1079		$1 + 0.2\sqrt{K_P} \frac{D}{B}$
	dq	1		Mayerhof's
	d _γ	1		
average soil bulk density				
average soil submerged weight	γsub	815.7	kg/m3	from soil data

Support 1 Tipe B

Calculation	Sym	Operation	Satuan	Equation
Maximum design span	Lspan	13.5	m	Data
Pipe peak horizontal load	FY*	523.872	N	Lateral Stability
Pipe horizontal force	F _{H1}	7072.275	N	FY* Lspan
Support peak horizontal load	FYs	2599.170	N	Lateral Stability
Support horizontal force	F _{H2}	2599.170	N	
Total horizontal Load	F _H	9671.445	N	F _{H1} + F _{H2}
Submerged weight of pipe	Ws	1201.734	N/m	Vertical Stability
Pipe vertical load	P ₁	16223.404	N	Ws x Lspan
Submerged weight of support	Wsg	59694.33	N	Vertical Stability
Support vertical load	P ₂	59694.33	N	
Total vertical load	P	601824.82	N	P ₁ + P ₂
Volume of liquid displaced	V _g	3.33	m ³	Volume Support
Exposed area of support	E _s	6.25	m ²	Support Length x Width
Ketinggian gaya yang mengenai pipa	t ₁	1.362	m	t support + 1/2 D
Ketinggian gaya yang mengenai support	t ₂	0.6	m	1/2 t support

Depth of Footing Calculation

Calculation	Symbol	Condition Operation	Unit	Equation
Safety factor	SF	3		Principle of Geotechnical Engineering
Allowable bearing pressure	q _{all}	114945,20	N/m ²	P/Ac + M/Z
Ultimate Bearing capacity	q _u	344835,60	N/m ²	$CN_c S_c d_c + q_0 N_q S_q d_q + 0.5 B \gamma_{sub} N_{\gamma} s_{\gamma} d_{\gamma}$
		344,84	kN/m ²	3q _{all}
overburden pressure	q ₀	344773,63	N/m ²	$= \frac{3q_{max} - (CN_c S_c d_c + 0.5 B \gamma_{sub} N_{\gamma} s_{\gamma} d_{\gamma})}{N_q S_q d_q}$
depth of footing	D _f	14,39	m	$\frac{q_{all}}{\gamma_s \times 1000}$

OVERTURNING CHECK

Overturning Moment

$$M_{op} = (F_{H1} \times t1) + (F_{H2} \times t2) = 11191,41 \text{ N/m}$$

Resisting Moment

$$M_{rop} = P \times 0,5 \times s = 45550,64$$

Safety Factor

$$SF = M_{rop} / M_{op}$$

$$SF = 4,0701$$

$$\text{Check} = SF > 1,5$$

$$4,0701 > 1,5 \text{ OK}$$

SLIDING CHECK

$$\text{Friction Coefficient } (\mu) = 0,3$$

$$SF_{\text{sliding}} = (P \times \mu) / F_H = 2,3549$$

$$\text{Check} = SF > 1,5$$

$$2,3549 > 1,5 \text{ OK}$$

Check :

SF > 1.5 → OK (safe against sliding)

SF < 1.5 → Not OK (not safe against sliding)

BEARING CAPACITY

$$Z_b = \frac{s \times s^2}{6} = 0,288 \text{ m}^3$$

Bearing Capacity Factor	Nc	5.14
Bearing Capacity Factor	Nγ	0
Depth Of Foundation	Df	0.1
Correction Factor	Kc	1
Undrained Shear Strength	c	5

Ultimate Bearing Capacity

$$Q_{ult} = C N_c S_c d_c + q_0 N_q S_q d_q + 0,5 B \gamma_{sub} N_\gamma S_\gamma d_\gamma$$

$$Q_{ult} = 335,99 \text{ kN/m}^2$$

Taking Moment About the Base (Mb)

$$M_b = (F_{H1} \times t_1) + (F_{H2} \times t_2)$$

$$M_b = 11191,4 \text{ N/m} = 11,1914 \text{ kN/m}$$

$$\text{Total Vertical Load (P)} = 75917,7 \text{ N} = 75,9177 \text{ kN}$$

$$\text{Expose area of support (Es)} = 6,25 \text{ m}^2$$

Bearing Pressure at Base of Support

$$P_{\text{base}} = (P / E_s) + (M_b / Z_b) = 51,0059 \text{ kPa}$$

Safety Factor

$$SF = Q_{\text{ult}} / P_{\text{base}}$$

$$SF = 6,5872$$

$$SF > 1,5 \quad \text{OK}$$

$$6,5872 > 1,5 \quad \text{OK}$$

Data Tanah dan Data Support 1 Tipe C

data	simbol	nilai	satuan	keterangan
dimensi support 1				
Lebar	B	2	m	
Panjang	L	2	m	
Tinggi	H	1.2	m	
Type of soil	Clay			
Friction Angle	ϕ	0		
Soil layer depth	do	0.1	m	from soil data
Cohesion	C	7	kPa	from soil data
bearing capacity factor	Nc	5.14		Mayerhof's
	Nq	1		
	N γ	0		
	Kp	2.6236		$\tan^2(45+\phi/2)$
shape factor	Sc	1.5247		$1+((0,2Kp) \times B/L)$
	Sq	1		Mayerhof's
	S γ	1		
depth factor	dc	1.1079		$1 + 0.2\sqrt{K_P} \frac{D}{B}$
	dq	1		Mayerhof's
	d γ	1		
average soil bulk density				
average soil submerged weight	γ_{sub}	815.7	kg/m3	from soil data

Support 1 Tipe C

Calculation	Sym	Operation	Satuan	Equation
Maximum design span	Lspan	13.5	m	Data
Pipe peak horizontal load	FY*	523.872	N	Lateral Stability
Pipe horizontal force	F _{H1}	7072.275	N	FY* Lspan
Support peak horizontal load	FYs	1663.469	N	Lateral Stability
Support horizontal force	F _{H2}	1663.469	N	
Total horizontal Load	F _H	8735.744	N	F _{H1} + F _{H2}
Submerged weight of pipe	Ws	1201.734	N/m	Vertical Stability
Pipe vertical load	P ₁	16223.404	N	Ws x Lspan
Submerged weight of support	Wsg	38204.37	N	Vertical Stability
Support vertical load	P ₂	38204.37	N	
Total vertical load	P	391008.31	N	P ₁ + P ₂
Volume of liquid displaced	V _g	2.13	m ³	Volume Support
Exposed area of support	E _s	4	m ²	Support Length x Width
Ketinggian gaya yang mengenai pipa	t ₁	1.362	m	t support + 1/2 D
Ketinggian gaya yang mengenai support	t ₂	0.6	m	1/2 t support

Depth of Footing Calculation

Calculation	Symbol	Condition Operation	Unit	Equation
Safety factor	SF	3		Principle of Geotechnical Engineering
Allowable bearing pressure	q _{all}	119898,99	N/m ²	P/Ac + M/Z
Ultimate Bearing capacity	q _u	359696,96	N/m ²	$CN_c S_c d_c + q_0 N_q S_q d_q + 0.5 B \gamma_{sub} N_y s_y d_y$
		359,70	kN/m ²	3q _{all}
overburden pressure	q _o	359633,21	N/m ²	$= \frac{3q_{max} - (CN_c S_c d_c + 0.5 B \gamma_{sub} N_y s_y d_y)}{N_q S_q d_q}$
depth of footing	D _f	15,01	m	$\frac{q_{all}}{\gamma_s \times 1000}$

OVERTURNING CHECK

Overturning Moment

$$M_{op} = (F_{H1} \times t1) + (F_{H2} \times t2) = 10629,99 \text{ N/m}$$

Resisting Moment

$$M_{rop} = P \times 0,5 \times s = 32656,66$$

Safety Factor

$$SF = M_{rop} / M_{op}$$

$$SF = 3,0721$$

$$\text{Check} = SF > 1,5$$

$$3,0721 > 1,5 \text{ OK}$$

SLIDING CHECK

$$\text{Friction Coefficient } (\mu) = 0,3$$

$$SF_{\text{sliding}} = (P \times \mu) / F_H = 1,8691$$

$$\text{Check} = SF > 1,5$$

$$1,8691 > 1,5 \text{ OK}$$

Check :

SF > 1.5 → OK (safe against sliding)

SF < 1.5 → Not OK (not safe against sliding)

BEARING CAPACITY

$$Z_b = \frac{s \times s^2}{6} = 0,288 \text{ m}^3$$

Bearing Capacity Factor	Nc	5.14
Bearing Capacity Factor	Nγ	0
Depth Of Foundation	Df	0.1
Correction Factor	Kc	1
Undrained Shear Strength	c	5

Ultimate Bearing Capacity

$$Q_{ult} = C N_c S_c d_c + q_0 N_q S_q d_q + 0,5 B \gamma_{sub} N_\gamma S_\gamma d_\gamma$$

$$Q_{ult} = 335,99 \text{ kN/m}^2$$

Taking Moment About the Base (M_b)

$$M_b = (F_{H1} \times t_1) + (F_{H2} \times t_2)$$

$$M_b = 10629,9 \text{ N/m} = 10,6299 \text{ kN/m}$$

$$\text{Total Vertical Load (P)} = 54427,7 \text{ N} = 54,4277 \text{ kN}$$

$$\text{Expose area of support (Es)} = 4 \text{ m}^2$$

Bearing Pressure at Base of Support

$$P_{\text{base}} = (P / E_s) + (M_b / Z_b) = 50,5166 \text{ kPa}$$

Safety Factor

$$SF = Q_{\text{ult}} / P_{\text{base}}$$

$$SF = 6,6510$$

$$SF > 1,5 \quad \text{OK}$$

$$6,6510 > 1,5 \quad \text{OK}$$

Resume Hasil Check Overturning Moment, Sliding, Bearing Capacity

Tipe Support 1	Check		
	Overturning	Sliding	Bearing Capacity
	SF > 1,5		
Tipe A	5,1618	2,8345	6,3881
Tipe B	4,0701	2,3549	6,5872
Tipe C	3,0721	1,8691	6,6510

Data Tanah dan Data Support 2 Tipe A

data	simbol	nilai	satuan	keterangan
dimensi support 1				
Lebar	B	3	m	
Panjang	L	3	m	
Tinggi	H	1.2	m	
Type of soil	Clay			
Friction Angle	ϕ	0		
Soil layer depth	do	0.1	m	from soil data
Cohesion	C	7	kPa	from soil data
bearing capacity factor	Nc	5.14		Mayerhof's
	Nq	1		
	N γ	0		
	Kp	2.6236		$\tan^2(45+\phi/2)$
shape factor	Sc	1.5247		$1+((0,2Kp) \times B/L)$
	Sq	1		Mayerhof's
	S γ	1		
depth factor	dc	1.1079		$1 + 0.2\sqrt{K_P} \frac{D}{B}$
	dq	1		Mayerhof's
	d γ	1		
average soil bulk density				
average soil submerged weight	γ_{sub}	815.7	kg/m3	from soil data

Support 2 Tipe A

Calculation	Sym	Operation	Satuan	Equation
Maximum design span	Lspan	13.5	m	Data
Pipe peak horizontal load	FY*	523.872	N	Lateral Stability
Pipe horizontal force	F _{H1}	7072.275	N	FY* Lspan
Support peak horizontal load	FYs	2899.827	N	Lateral Stability
Support horizontal force	F _{H2}	2899.827	N	
Total horizontal Load	F _H	9972.103	N	F _{H1} + F _{H2}
Submerged weight of pipe	Ws	1201.734	N/m	Vertical Stability
Pipe vertical load	P ₁	16223.404	N	Ws x Lspan
Submerged weight of support	Wsg	64469.88	N	Vertical Stability
Support vertical load	P ₂	64469.88	N	
Total vertical load	P	648672.93	N	P ₁ + P ₂
Volume of liquid displaced	V _g	3.6	m ³	Volume Support
Exposed area of support	E _s	9	m ²	Support Length x Width
Ketinggian gaya yang mengenai pipa	t ₁	1.362	m	t support + 1/2 D
Ketinggian gaya yang mengenai support	t ₂	0.6	m	1/2 t support

Depth of Footing Calculation

Calculation	Symbol	Condition Operation	Unit	Equation
Safety factor	SF	3		Principle of Geotechnical Engineering
Allowable bearing pressure	q _{all}	87868,94	N/m ²	P/Ac + M/Z
Ultimate Bearing capacity	q _u	263606,83	N/m ²	$CN_c S_c d_c + q_0 N_q S_q d_q + 0.5 B \gamma_{sub} N_{\gamma} s_{\gamma} d_{\gamma}$
		263,61	kN/m ²	3q _{all}
overburden pressure	q _o	263546,04	N/m ²	$= \frac{3q_{max} - (CN_c S_c d_c + 0.5 B \gamma_{sub} N_{\gamma} s_{\gamma} d_{\gamma})}{N_q S_q d_q}$
depth of footing	D _f	11,00	m	$\frac{q_{all}}{\gamma_s \times 1000}$

OVERTURNING CHECK

Overturning Moment

$$M_{op} = (F_{H1} \times t_1) + (F_{H2} \times t_2) = 11371,80 \text{ N/m}$$

Resisting Moment

$$M_{rop} = P \times 0,5 \times s = 48415,97$$

Safety Factor

$$SF = M_{rop} / M_{op}$$

$$SF = 4,2575$$

$$\text{Check} = SF > 1,5$$

$$4,2575 > 1,5 \text{ OK}$$

SLIDING CHECK

$$\text{Friction Coefficient } (\mu) = 0,3$$

$$SF_{\text{sliding}} = (P \times \mu) / F_H = 2,4276$$

$$\text{Check} = SF > 1,5$$

$$2,4276 > 1,5 \text{ OK}$$

Check :

SF > 1.5 → OK (safe against sliding)

SF < 1.5 → Not OK (not safe against sliding)

BEARING CAPACITY

$$Z_b = \frac{s \times s^2}{6} = 0,288 \text{ m}^3$$

Bearing Capacity Factor	Nc	5.14
Bearing Capacity Factor	N γ	0
Depth Of Foundation	Df	0.1
Correction Factor	Kc	1
Undrained Shear Strength	c	5

Ultimate Bearing Capacity

$$Q_{ult} = C N_c S_c d_c + q_0 N_q S_q d_q + 0,5 B \gamma_{sub} N_\gamma S_\gamma d_\gamma$$

$$Q_{ult} = 263,61 \text{ kN/m}^2$$

Taking Moment About the Base (Mb)

$$M_b = (F_{H1} \times t_1) + (F_{H2} \times t_2)$$

$$M_b = 11371,8 \text{ N/m} = 11,3718 \text{ kN/m}$$

$$\text{Total Vertical Load (P)} = 80693,2 \text{ N} = 80,6932 \text{ kN}$$

$$\text{Expose area of support (Es)} = 9 \text{ m}^2$$

Bearing Pressure at Base of Support

$$P_{\text{base}} = (P / Es) + (Mb / Zb) = 48,4513 \text{ kPa}$$

Safety Factor

$$SF = Q_{\text{ult}} / P_{\text{base}}$$

$$SF = 5,4406$$

$$SF > 1,5 \quad \text{OK}$$

$$5,4406 > 1,5 \quad \text{OK}$$

Data Tanah dan Data Support 2 Tipe B

data	simbol	nilai	satuan	keterangan
dimensi support 1				
Lebar	B	2.5	m	
Panjang	L	2.5	m	
Tinggi	H	1.2	m	
Type of soil	Clay			
Friction Angle	ϕ	0		
Soil layer depth	do	0.1	m	from soil data
Cohesion	C	7	kPa	from soil data
bearing capacity factor	Nc	5.14		Mayerhof's
	Nq	1		
	N γ	0		
	Kp	2.6236		$\tan^2(45+\phi/2)$
shape factor	Sc	1.5247		$1+((0,2Kp) \times B/L)$
	Sq	1		Mayerhof's
	S γ	1		
depth factor	dc	1.1079		$1 + 0.2\sqrt{K_P} \frac{D}{B}$
	dq	1		Mayerhof's
	d γ	1		
average soil bulk density				
average soil submerged weight	γ_{sub}	815.7	kg/m3	from soil data

Support 2 Tipe B

Calculation	Sym	Operation	Satuan	Equation
Maximum design span	Lspan	13.5	m	Data
Pipe peak horizontal load	FY*	523.872	N	Lateral Stability
Pipe horizontal force	F _{H1}	7072.275	N	FY* Lspan
Support peak horizontal load	FYs	1896.689	N	Lateral Stability
Support horizontal force	F _{H2}	1896.689	N	
Total horizontal Load	F _H	8968.964	N	F _{H1} + F _{H2}
Submerged weight of pipe	Ws	1201.734	N/m	Vertical Stability
Pipe vertical load	P ₁	16223.404	N	Ws x Lspan
Submerged weight of support	Wsg	41786.03	N	Vertical Stability
Support vertical load	P ₂	41786.03	N	
Total vertical load	P	426144.36	N	P ₁ + P ₂
Volume of liquid displaced	V _g	2.33	m ³	Volume Support
Exposed area of support	E _s	6.25	m ²	Support Length x Width
Ketinggian gaya yang mengenai pipa	t ₁	1.362	m	t support + 1/2 D
Ketinggian gaya yang mengenai support	t ₂	0.6	m	1/2 t support

Depth of Footing Calculation

Calculation	Symbol	Condition Operation	Unit	Equation
Safety factor	SF	3		Principle of Geotechnical Engineering
Allowable bearing pressure	q _{all}	93206,12	N/m ²	P/Ac + M/Z
Ultimate Bearing capacity	q _u	279618,35	N/m ²	$CN_c S_c d_c + q_0 N_q S_q d_q + 0.5 B \gamma_{sub} N_{\gamma} s_{\gamma} d_{\gamma}$
		279,62	kN/m ²	3q _{all}
overburden pressure	q _o	279556,38	N/m ²	$= \frac{3q_{max} - (CN_c S_c d_c + 0.5 B \gamma_{sub} N_{\gamma} s_{\gamma} d_{\gamma})}{N_q S_q d_q}$
depth of footing	D _f	11,67	m	$\frac{q_{all}}{\gamma_s \times 1000}$

OVERTURNING CHECK

Overturning Moment

$$M_{op} = (F_{H1} \times t1) + (F_{H2} \times t2) = 10769,92 \text{ N/m}$$

Resisting Moment

$$M_{rop} = P \times 0,5 \times s = 34805,66$$

Safety Factor

$$SF = M_{rop} / M_{op}$$

$$SF = 3,2317$$

$$\text{Check} = SF > 1,5$$

$$3,2317 > 1,5 \text{ OK}$$

SLIDING CHECK

$$\text{Friction Coefficient } (\mu) = 0,3$$

$$SF_{sliding} = (P \times \mu) / F_H = 1,9403$$

$$\text{Check} = SF > 1,5$$

$$1,9403 > 1,5 \text{ OK}$$

Check :

SF > 1.5 → OK (safe against sliding)

SF < 1.5 → Not OK (not safe against sliding)

BEARING CAPACITY

$$Z_b = \frac{s \times s^2}{6} = 0,288 \text{ m}^3$$

Bearing Capacity Factor	Nc	5.14
Bearing Capacity Factor	N γ	0
Depth Of Foundation	Df	0.1
Correction Factor	Kc	1
Undrained Shear Strength	c	5

Ultimate Bearing Capacity

$$Q_{ult} = C N_c S_c d_c + q_0 N_q S_q d_q + 0,5 B \gamma_{sub} N_\gamma S_\gamma d_\gamma$$

$$Q_{ult} = 263,61 \text{ kN/m}^2$$

Taking Moment About the Base (Mb)

$$M_b = (F_{H1} \times t_1) + (F_{H2} \times t_2)$$

$$M_b = 10769,9 \text{ N/m} = 10,7699 \text{ kN/m}$$

$$\text{Total Vertical Load (P)} = 58009,4 \text{ N} = 58,0094 \text{ kN}$$

$$\text{Expose area of support (Es)} = 6,25 \text{ m}^2$$

Bearing Pressure at Base of Support

$$P_{\text{base}} = (P / E_s) + (M_b / Z_b) = 46,6770 \text{ kPa}$$

Safety Factor

$$SF = Q_{\text{ult}} / P_{\text{base}}$$

$$SF = 5,6474$$

$$SF > 1,5 \quad \text{OK}$$

$$5,6474 > 1,5 \quad \text{OK}$$

Data Tanah dan Data Support 2 Tipe C

data	simbol	nilai	satuan	keterangan
dimensi support 1				
Lebar	B	2	m	
Panjang	L	2	m	
Tinggi	H	1.2	m	
Type of soil	Clay			
Friction Angle	ϕ	0		
Soil layer depth	do	0.1	m	from soil data
Cohesion	C	7	kPa	from soil data
bearing capacity factor	Nc	5.14		Mayerhof's
	Nq	1		
	N γ	0		
	Kp	2.6236		$\tan^2(45+\phi/2)$
shape factor	Sc	1.5247		$1+((0,2Kp) \times B/L)$
	Sq	1		Mayerhof's
	S γ	1		
depth factor	dc	1.1079		$1 + 0.2\sqrt{K_P} \frac{D}{B}$
	dq	1		Mayerhof's
	d γ	1		
average soil bulk density				
average soil submerged weight	γ_{sub}	815.7	kg/m3	from soil data

Support 2 Tipe C

Calculation	Sym	Operation	Satuan	Equation
Maximum design span	Lspan	13.5	m	Data
Pipe peak horizontal load	FY*	523.872	N	Lateral Stability
Pipe horizontal force	F _{H1}	7072.275	N	FY* Lspan
Support peak horizontal load	FYs	1101.484	N	Lateral Stability
Support horizontal force	F _{H2}	1101.484	N	
Total horizontal Load	F _H	8173.759	N	F _{H1} + F _{H2}
Submerged weight of pipe	Ws	1201.734	N/m	Vertical Stability
Pipe vertical load	P ₁	16223.404	N	Ws x Lspan
Submerged weight of support	Wsg	23877.73	N	Vertical Stability
Support vertical load	P ₂	23877.73	N	
Total vertical load	P	250463.94	N	P ₁ + P ₂
Volume of liquid displaced	V _g	1.33	m ³	Volume Support
Exposed area of support	E _s	4	m ²	Support Length x Width
Ketinggian gaya yang mengenai pipa	t ₁	1.362	m	t support + 1/2 D
Ketinggian gaya yang mengenai support	t ₂	0.6	m	1/2 t support

Depth of Footing Calculation

Calculation	Symbol	Condition Operation	Unit	Equation
Safety factor	SF	3		Principle of Geotechnical Engineering
Allowable bearing pressure	q _{all}	84060,41	N/m ²	P/Ac + M/Z
Ultimate Bearing capacity	q _u	252181,24	N/m ²	$CN_c S_c d_c + q_0 N_q S_q d_q + 0.5 B \gamma_{sub} N_{\gamma} s_{\gamma} d_{\gamma}$
		252,18	kN/m ²	3q _{all}
overburden pressure	q ₀	252117,49	N/m ²	$= \frac{3q_{max} - (CN_c S_c d_c + 0.5 B \gamma_{sub} N_{\gamma} s_{\gamma} d_{\gamma})}{N_q S_q d_q}$
depth of footing	D _f	10,52	m	$\frac{q_{all}}{\gamma_s \times 1000}$

OVERTURNING CHECK

Overturning Moment

$$M_{op} = (F_{H1} \times t1) + (F_{H2} \times t2) = 10292,79 \text{ N/m}$$

Resisting Moment

$$M_{rop} = P \times 0,5 \times s = 24060,68$$

Safety Factor

$$SF = M_{rop} / M_{op}$$

$$SF = 2,3376$$

$$\text{Check} = SF > 1,5$$

$$2,3376 > 1,5 \text{ OK}$$

SLIDING CHECK

$$\text{Friction Coefficient } (\mu) = 0,3$$

$$SF_{\text{sliding}} = (P \times \mu) / F_H = 1,4718$$

$$\text{Check} = SF > 1,5$$

$$1,4718 > 1,5 \text{ OK}$$

Check :

SF > 1.5 → OK (safe against sliding)

SF < 1.5 → Not OK (not safe against sliding)

BEARING CAPACITY

$$Z_b = \frac{s \times s^2}{6} = 0,288 \text{ m}^3$$

Bearing Capacity Factor	Nc	5.14
Bearing Capacity Factor	N _γ	0
Depth Of Foundation	Df	0.1
Correction Factor	Kc	1
Undrained Shear Strength	c	5

Ultimate Bearing Capacity

$$Q_{ult} = C N_c S_c d_c + q_0 N_q S_q d_q + 0,5 B \gamma_{sub} N_{\gamma} S_{\gamma} d_{\gamma}$$

$$Q_{ult} = 263,61 \text{ kN/m}^2$$

Taking Moment About the Base (Mb)

$$M_b = (F_{H1} \times t_1) + (F_{H2} \times t_2)$$

$$M_b = 10292,8 \text{ N/m} = 10,2928 \text{ kN/m}$$

$$\text{Total Vertical Load (P)} = 40101,1 \text{ N} = 40,1011 \text{ kN}$$

$$\text{Expose area of support (Es)} = 4 \text{ m}^2$$

Bearing Pressure at Base of Support

$$P_{\text{base}} = (P / E_s) + (M_b / Z_b) = 45,7641 \text{ kPa}$$

Safety Factor

$$SF = Q_{\text{ult}} / P_{\text{base}}$$

$$SF = 5,7601$$

$$SF > 1,5 \quad \text{OK}$$

$$5,7601 > 1,5 \quad \text{OK}$$

Resume Hasil Check Overturning Moment, Sliding, Bearing Capacity

Tipe Support 2	Check		
	Overturning	Sliding	Bearing Capacity
	SF > 1,5		
Tipe A	4,2575	2,4276	5,4406
Tipe B	3,2317	1,9403	5,6475
Tipe C	2,3376	1,4718	5,7601

LAMPIRAN D

Immediate Settlement

Rumus penurunan seketika (*immediately settlement*) adalah sebagai berikut :

$$S_i = qB \frac{1 - \mu^2}{E_s} I_w$$

Dimana:

q = besarnya tegangan kontak

B = lebar pondasi

I_w = faktor pengaruh yang tergantung dari bentuk pondasi dan kekakuan pondasi (**Tabel 2.4**)

μ = angka *poisson's ratio* (**Tabel 2.5**)

E_s = sifat elastisitas tanah (**Tabel 2.6**)

Support 1 Tipe A

Immediate settlement				
Allowable Bearing Pressure	qall	111995,48	N/m ²	P/A _e + M/Z
Max Contact Pressure	Pr,max (q)	112,00	kN/m ²	qall/1000
Width of Foundation	B	3	m	
Poisson ratio	μ	0,3		
Influence factor	I _w	0.82		rectangular shape
Corelation factor	Kc	1		
Undrained shear strength	Cu	5		
soil elastic modulus	E _s	5000	kN/m ²	Es= Kc * Cu
immediate settlement	Sl	0,050	m	
		50,14	mm	

Support 1 Tipe B

Immediate settlement				
Allowable Bearing Pressure	qall	114945,20	N/m ²	P/A _e + M/Z
Max Contact Pressure	Pr,max (q)	114,95	kN/m ²	qall/1000
Width of Foundation	B	2,5	m	
Poisson ratio	μ	0,3		
Influence factor	I _w	0.82		rectangular shape
Corelation factor	Kc	1		
Undrained shear strength	Cu	5		
soil elastic modulus	E _s	5000	kN/m ²	Es= Kc * Cu
immediate settlement	Sl	0,043	m	
		42,89	mm	

Support 1 Tipe C

Immediate settlement				
Allowable Bearing Pressure	qall	119898,99	N/m ²	P/A _e + M/Z
Max Contact Pressure	Pr,max (q)	119,90	kN/m ²	qall/1000
Width of Foundation	B	2	m	
Poisson ratio	μ	0,3		
Influence factor	Iw	0.82		rectangular shape
Corelation factor	Kc	1		
Undrained shear strength	Cu	5		
soil elastic modulus	Es	5000	kN/m ²	Es= Kc * Cu
immediate settlement	Sl	0,036	m	
		35,79	mm	

Support 2 Tipe A

Immediate settlement				
Allowable Bearing Pressure	qall	87868,94	N/m ²	P/A _e + M/Z
Max Contact Pressure	Pr,max (q)	87,87	kN/m ²	qall/1000
Width of Foundation	B	3	m	
Poisson ratio	μ	0,3		
Influence factor	Iw	0.82		rectangular shape
Corelation factor	Kc	1		
Undrained shear strength	Cu	5		
soil elastic modulus	Es	5000	kN/m ²	Es= Kc * Cu
immediate settlement	Sl	0,039	m	
		39,34	mm	

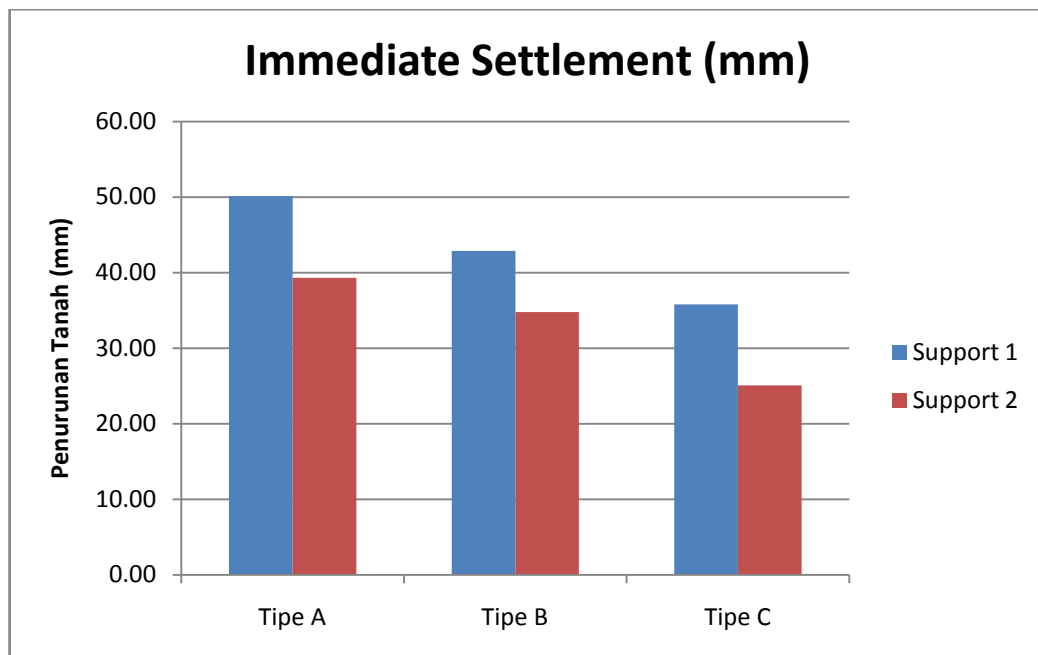
Support 2 Tipe B

Immediate settlement				
Allowable Bearing Pressure	qall	93206,12	N/m ²	P/A _e + M/Z
Max Contact Pressure	Pr,max (q)	93,21	kN/m ²	qall/1000
Width of Foundation	B	2,5	m	
Poisson ratio	μ	0,3		
Influence factor	Iw	0.82		rectangular shape
Corelation factor	Kc	1		
Undrained shear strength	Cu	5		
soil elastic modulus	Es	5000	kN/m ²	Es= Kc * Cu
immediate settlement	Sl	0,035	m	
		34,78	mm	

Support 2 Tipe C

Immediate settlement				
Allowable Bearing Pressure	q_{all}	84060,41	N/m^2	$P/A_e + M/Z$
Max Contact Pressure	$P_{r,max} (q)$	84,06	kN/m^2	$q_{all}/1000$
Width of Foundation	B	2	m	
Poisson ratio	μ	0,3		
Influence factor	I_w	0.82		rectangular shape
Corelation factor	K_c	1		
Undrained shear strength	C_u	5		
soil elastic modulus	E_s	5000	kN/m^2	$E_s = K_c * C_u$
immediate settlement	SI	0,025	m	
		25,09	mm	

	Support 1	Support 2
Tipe A	50.14 mm	39.34 mm
Tipe B	42.89 mm	34.78 mm
Tipe C	35.79 mm	25.09 mm



PERHITUNGAN CONSOLIDATION SETTLEMENT

Support 1 Tipe A

[illegible]

Support 1 Tipe B

[illegible]

Support 1 Tipe C

[illegible]

Support 2 Tipe A

[illegible]

Support 2 Tipe B

Layer	Pressure	Effective Unit Weight of Soil	Thickness of Layer	Centre of Layer	Footing Width	Footing Length	m	n	Influence factor	Increase pressure under load	Overburden pressure	Settlement	
	q	γ_{sd}	H	Z	B	L	B/z	L/z	Ir	Δp	p_o	S	S
	kN/m ²	kN/m ³	m	m	m	m				kN/m ²	kN/m ²	m	cm
1	93.22	7.99	0.5	0.5	2.5	2.5	5	5	0.381	142.017	11.99	0.144	14.437
2	93.24	7.99	1	1.5	2.5	2.5	1.667	1.667	0.141	52.639	19.98	0.073	7.298
3	93.27	7.99	1	2.5	2.5	2.5	1	1	0.093	34.630	27.97	0.046	4.556
4	93.29	7.99	1	3.5	2.5	2.5	0.714	0.714	0.069	25.696	35.96	0.030	3.049
5	93.32	7.99	1	4.5	2.5	2.5	0.556	0.556	0.053	19.783	43.95	0.021	2.102
6	93.35	7.99	1	5.5	2.5	2.5	0.455	0.455	0.042	15.533	51.94	0.015	1.479
7	93.37	7.99	1	6.5	2.5	2.5	0.385	0.385	0.033	12.398	59.93	0.011	1.063
8	93.40	7.99	1	7.5	2.5	2.5	0.333	0.333	0.027	10.052	67.92	0.008	0.780
9	93.42	7.99	1	8.5	2.5	2.5	0.294	0.294	0.022	8.272	75.91	0.006	0.585
10	93.45	7.99	1	9.5	2.5	2.5	0.263	0.263	0.018	6.900	83.90	0.004	0.447
												0.358	35.796

Support 2 Tipe C

Layer	Pressure	Effective Unit Weight of Soil	Thickness of Layer	Centre of Layer	Footing Width	Footing Length	m	n	Influence factor	Increase pressure under load	Overburden pressure	Settlement	
	q	γ_{sd}	H	Z	B	L	B/z	L/z	I _r	Δp	p _o	S	S
	kN/m²	kN/m³	m	m	m	m				kN/m²	kN/m²	m	cm
1	84.07	7.99	0.5	0.5	2	2	4	4	0.308	103.635	11.99	0.128	12.816
2	84.10	7.99	1	1.5	2	2	1.333	1.333	0.117	39.514	19.98	0.062	6.170
3	84.12	7.99	1	2.5	2	2	0.8	0.8	0.077	25.752	27.97	0.037	3.691
4	84.15	7.99	1	3.5	2	2	0.571	0.571	0.055	18.410	35.96	0.023	2.338
5	84.17	7.99	1	4.5	2	2	0.444	0.444	0.040	13.605	43.95	0.015	1.525
6	84.20	7.99	1	5.5	2	2	0.364	0.364	0.031	10.315	51.94	0.010	1.024
7	84.22	7.99	1	6.5	2	2	0.308	0.308	0.024	8.011	59.93	0.007	0.709
8	84.25	7.99	1	7.5	2	2	0.267	0.267	0.019	6.359	67.92	0.005	0.506
9	84.28	7.99	1	8.5	2	2	0.235	0.235	0.015	5.149	75.91	0.004	0.371
10	84.30	7.99	1	9.5	2	2	0.211	0.211	0.013	4.242	83.90	0.003	0.279
												0.294	29.430

Consolidation Settlement

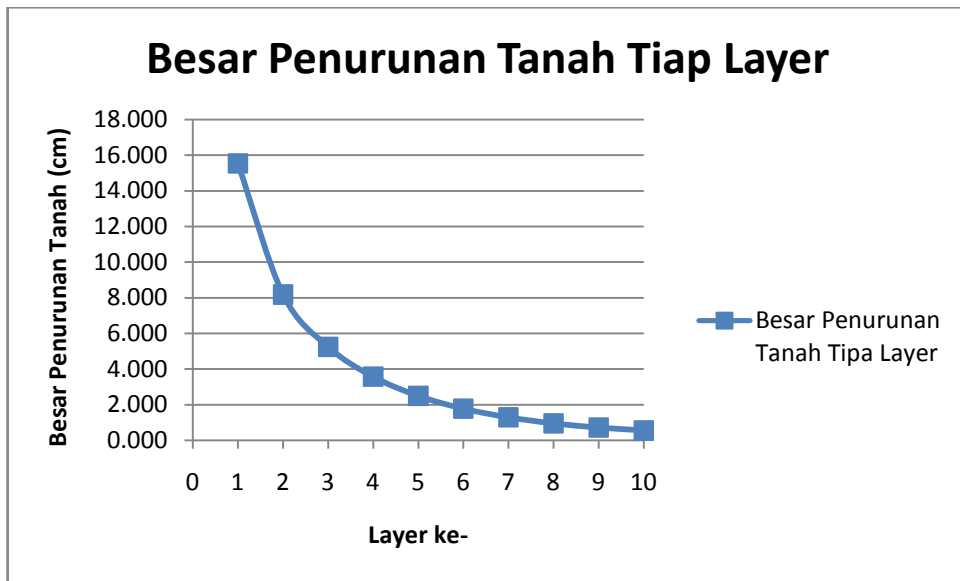
Grafik Penurunan Tanah pada Support 1 Tipe A

Layer	Settlement (cm)
1	16.337
2	8.744
3	5.675
4	3.961
5	2.854
6	2.094
7	1.559
8	1.178
9	0.904
10	0.704



Grafik Penurunan Tanah pada Support 1 Tipe B

Layer	Settlement (cm)
1	15.538
2	8.181
3	5.242
4	3.573
5	2.496
6	1.775
7	1.285
8	0.948
9	0.713
10	0.546



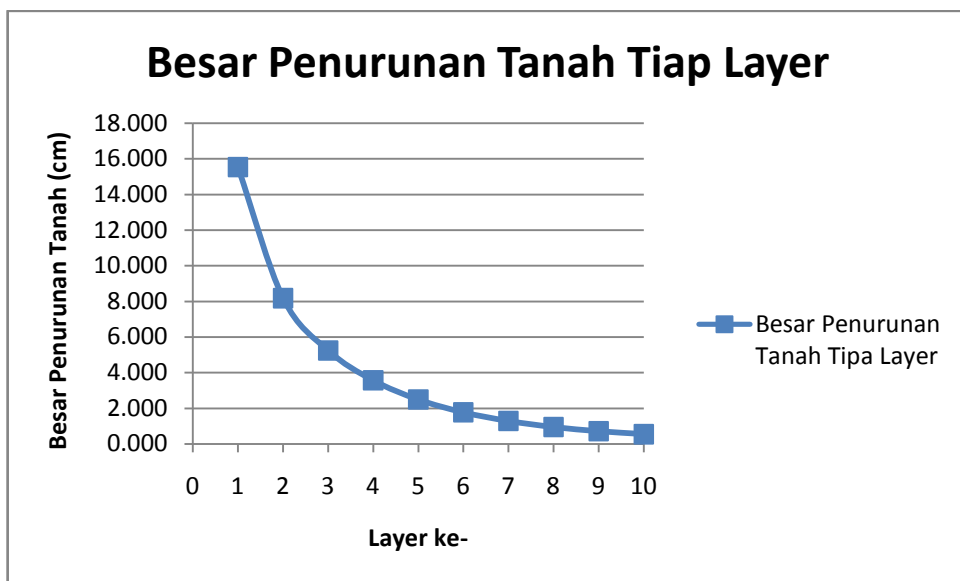
Grafik Penurunan Tanah pada Support 1 Tipe C

Layer	Settlement (cm)
1	14.646
2	7.580
3	4.742
4	3.100
5	2.067
6	1.410
7	0.986
8	0.708
9	0.522
10	0.393



Grafik Penurunan Tanah pada Support 2 Tipe A

Layer	Settlement (cm)
1	15.538
2	8.181
3	5.242
4	3.573
5	2.496
6	1.775
7	1.285
8	0.948
9	0.713
10	0.546



Grafik Penurunan Tanah pada Support 2 Tipe B

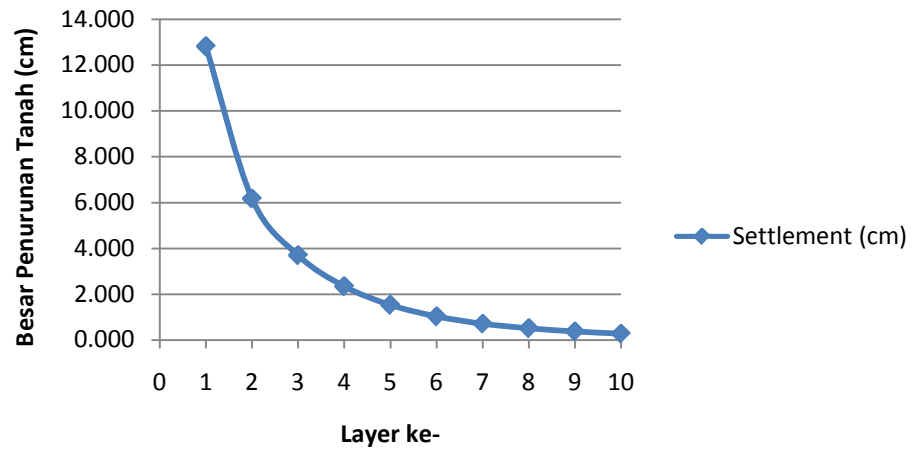
Layer	Settlement (cm)
1	14.437
2	7.298
3	4.556
4	3.049
5	2.102
6	1.479
7	1.063
8	0.780
9	0.585
10	0.447



Grafik Penurunan Tanah pada Support 2 Tipe C

Layer	Settlement (cm)
1	12.816
2	6.170
3	3.691
4	2.338
5	1.525
6	1.024
7	0.709
8	0.506
9	0.371
10	0.279

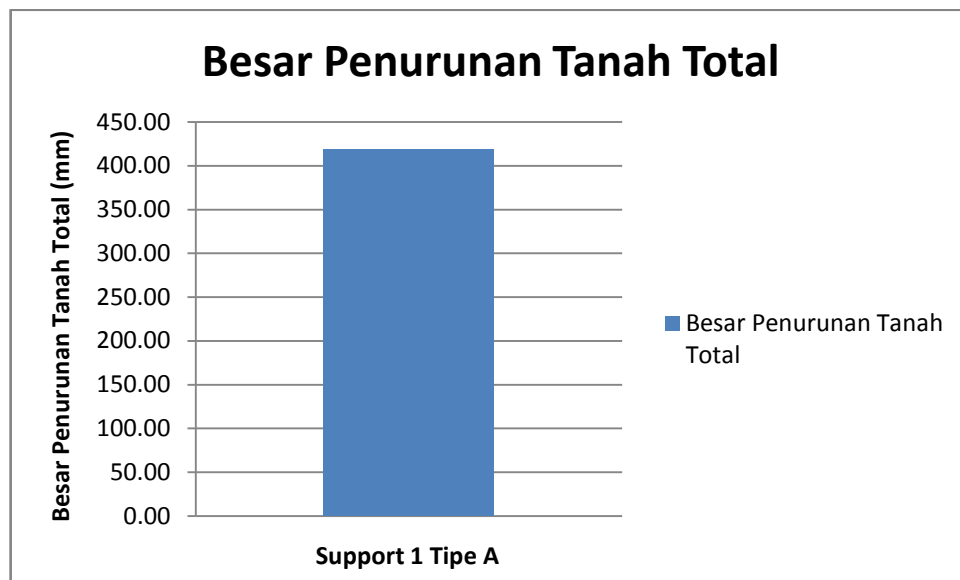
Besar Penurunan Tanah Tiap Layer



Settlement Total pada Support

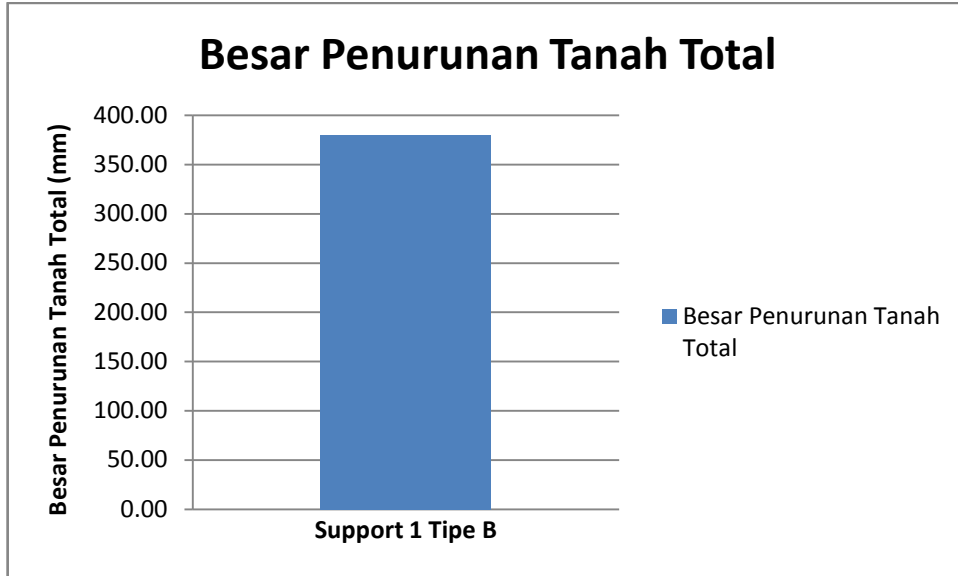
Support 1 Tipe A

Operation	Symbol	Value	Unit	Keterangan
Periode Operation	t	156	bulan	13 tahun
Immediate Settlement	SI	50.14	mm	Immediate Settlement Calculation
Consolidation settlement	Scon	0.44	m	Consolidation Settlement Calculation
		440.10	mm	
Consolidation rate	cv	3.82		From soil data
Time factor	Tv	0.55		$C_v \cdot t / h^2$
Presentase consolidation	U	0.84		$\sqrt{4 \cdot T_v} / \pi$
Estimate consolidation	Ec	368.47	mm	$S_{con} \cdot U$
Total Consolidation	Sop	418.61	mm	$E_c + SI$



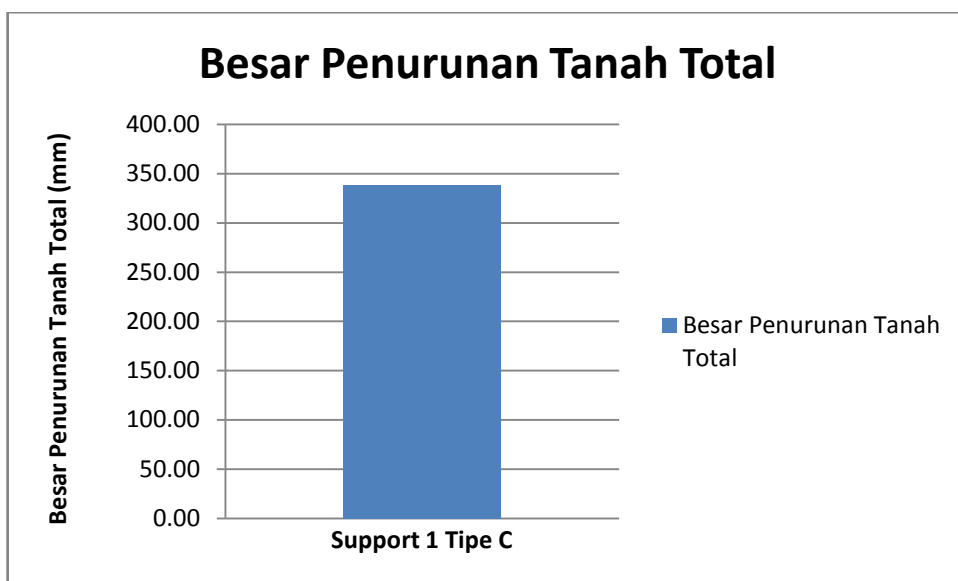
Support 1 Tipe B

Operation	Symbol	Value	Unit	Keterangan
Periode Operation	t	156	bulan	13 tahun
Immediate Settlement	SI	42.89	mm	Immediate Settlement Calculation
Consolidation settlement	Scon	0.40	m	Consolidation Settlement Calculation
		402.96	mm	
Consolidation rate	cv	3.82		From soil data
Time factor	Tv	0.55		$C_v \cdot t / h^2$
Presentase consolidation	U	0.84		$\sqrt{4 \cdot T_v} / \pi$
Estimate consolidation	Ec	337.37	mm	$S_{con} \cdot U$
Total Consolidation	Sop	380.25	mm	$E_c + SI$



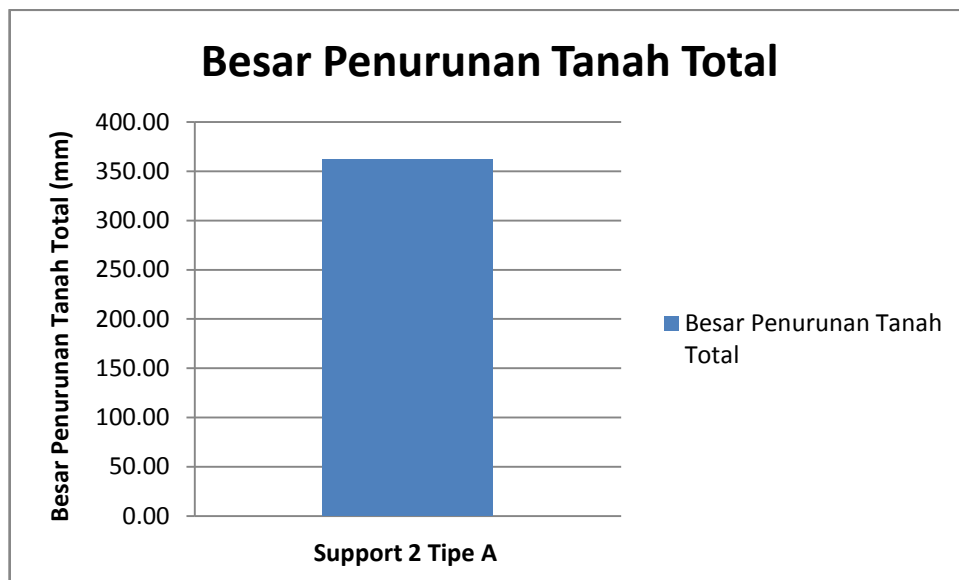
Support 1 Tipe C

Operation	Symbol	Value	Unit	Keterangan
Periode Operation	t	156	bulan	13 tahun
Immediate Settlement	SI	35.79	mm	Immediete Settlement Calculation
Consolidation settlement	Scon	0.36	m	Consolidation Settlement Calculation
		361.54	mm	
Consolidation rate	cv	3.82		From soil data
Time factor	Tv	0.55		$C_v \cdot t / h^2$
Presentase consolidation	U	0.84		$\sqrt{(4 \cdot T_v) / \pi}$
Estimate consolidation	Ec	302.69	mm	$S_{con} \cdot U$
Total Consolidation	Sop	338.48	mm	$E_c + SI$



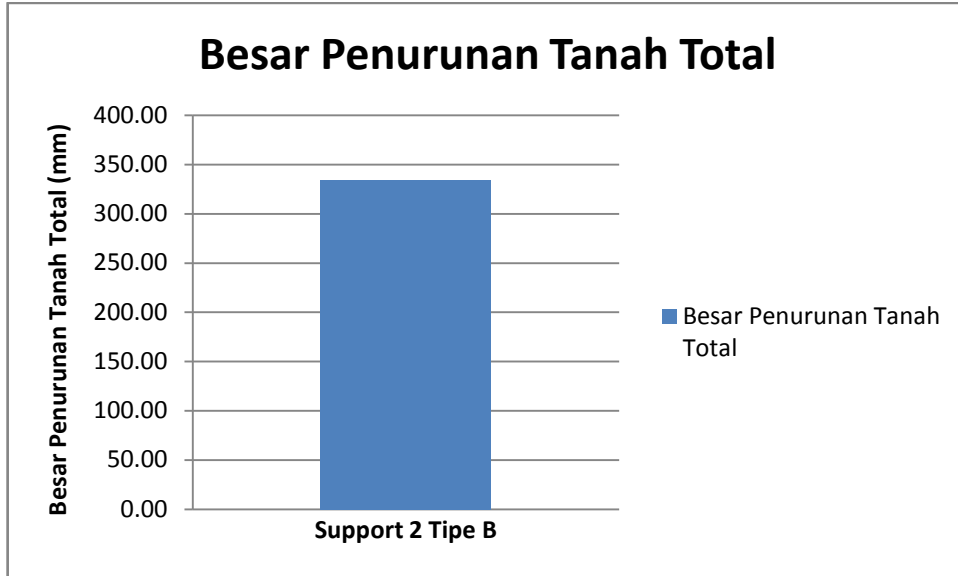
Support 2 Tipe A

Operation	Symbol	Value	Unit	Keterangan
Periode Operation	t	156	bulan	13 tahun
Immediate Settlement	SI	39.34	mm	Immediete Settlement Calculation
Consolidation settlement	Scon	0.39	m	Consolidation Settlement Calculation
		385.16	mm	
Consolidation rate	cv	3.82		From soil data
Time factor	Tv	0.55		$C_v \cdot t / h^2$
Presentase consolidation	U	0.84		$\sqrt{4 \cdot T_v} / \pi$
Estimate consolidation	Ec	322.47	mm	Scon * U
Total Consolidation	Sop	361.81	mm	Ec + SI



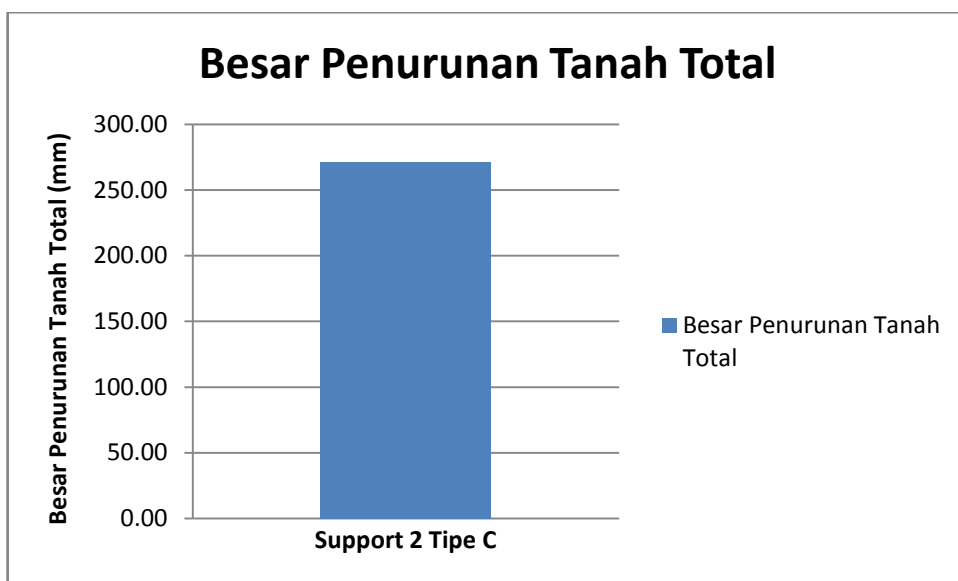
Support 2 Tipe B

Operation	Symbol	Value	Unit	Keterangan
Periode Operation	t	156	bulan	13 tahun
Immediate Settlement	SI	34.78	mm	Immediete Settlement Calculation
Consolidation settlement	Scon	0.36	m	Consolidation Settlement Calculation
		357.96	mm	
Consolidation rate	cv	3.82		From soil data
Time factor	Tv	0.55		$C_v \cdot t / h^2$
Presentase consolidation	U	0.84		$\sqrt{4 \cdot T_v} / \pi$
Estimate consolidation	Ec	299.70	mm	Scon * U
Total Consolidation	Sop	334.47	mm	Ec + SI



Support 2 Tipe C

Operation	Symbol	Value	Unit	Keterangan
Periode Operation	t	156	bulan	13 tahun
Immediate Settlement	SI	25.09	mm	Immediete Settlement Calculation
Consolidation settlement	Scon	0.29	m	Consolidation Settlement Calculation
		294.30	mm	
Consolidation rate	cv	3.82		From soil data
Time factor	Tv	0.55		$C_v \cdot t / h^2$
Presentase consolidation	U	0.84		$\sqrt{(4 \cdot T_v) / \pi}$
Estimate consolidation	Ec	246.40	mm	$S_{con} \cdot U$
Total Consolidation	Sop	271.49	mm	$E_c + SI$



BIODATA PENULIS



Hafizhuddin Rahmansyah Abbas lahir di Surabaya, 19 Januari 1993. Anak kedua dari tiga bersaudara. Pendidikan formal penulis dimulai dengan menyelesaikan jenjang Pendidikan Dasar di SD Muhammadiyah 4 Surabaya pada tahun 2005 dan SMP Negeri 6 Surabaya pada tahun 2008. Kemudian menyelesaikan jenjang Pendidikan Menengah Atas di SMA Negeri 2 Surabaya pada tahun 2011. Setelah lulus jenjang Pendidikan Menengah Atas, penulis mengikuti tes Seleksi Nasional Masuk Perguruan

Tinggi Negeri (SNMPTN) dan diterima di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember di Surabaya. Selama menempuh masa perkuliahan, penulis sangat aktif di beberapa organisasi kemahasiswaan dan kepanitiaan, juga dalam berbagai pelatihan, seminar, dan kegiatan lainnya. Dalam bidang organisasi kemahasiswaan, penulis pernah mendapatkan amanah sebagai staf Departemen Dalam Negeri HIMATEKLA FTK ITS periode 2012-2013 dan Kepala Departemen Minat dan Bakat HIMATEKLA FTK ITS periode 2013-2014. Penulis pernah berkesempatan untuk menjalankan kerja praktik di PT. Pertamina EP, Asset 2 Field Prabumulih, Prabumulih, Sumatera Selatan. Selama masa studi, penulis sangat tertarik dengan bidang ahli perancangan dan produksi bangunan laut sehingga hal itulah yang mendasari penulis untuk membuat tugas akhir ini dengan topik *Offshore Pipeline*.